



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ (स्वायत्त)
(ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

GEOTECHNICAL ENGINEERING

314315

K-Scheme

जिओटेक्निकल इंजिनीअरिंग

स्थापत्य अभियांत्रिकी गट
(के स्कीम)

मराठी-इंग्रजी (द्विभाषिक माध्यम)

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

जिओटेक्निकल इंजिनीअरिंग

GEOTECHNICAL ENGINEERING

(314315)

स्थापत्य अभियांत्रिकी गट

(के स्कीम)

K-Scheme

मराठी-इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञानातील चतुर्थ सत्र पदविका)

जिओटेक्निकल इंजिनीअरिंग
GEOTECHNICAL ENGINEERING
(314315)

मार्गदर्शक

श्री राजेश त्र्यंबकराव आघाव
वरिष्ठ अधिव्याख्याता, उपयोजित यंत्र शास्त्र विभाग

संकलक

श्री. महेश सुदाम यादव
अधिव्याख्याता, स्थापत्य अभियांत्रिकी
कु. नीलिमा बळवंत कोरे
अधिव्याख्याता, स्थापत्य अभियांत्रिकी

श्री. शुभम कचरू पारधे
अधिव्याख्याता, स्थापत्य अभियांत्रिकी
श्री. सागर एकनाथ शिंदे
अधिव्याख्याता, स्थापत्य अभियांत्रिकी
श्री. गौरव धनराज अहिरे
अधिव्याख्याता, स्थापत्य अभियांत्रिकी

समीक्षक

श्री. अतुल एकनाथ सोनावणे
कु. नीलिमा बळवंत कोरे
श्री. कुलदीप प्रकाश माळी
श्री. विवेक तुकाराम बाबर
श्री. अजित महादेव कदम

मुख्य समन्वयक

डॉ. हणमंत शामराव जाधव
प्राचार्य

संस्था समन्वयक

श्री. कुलदीप प्रकाश माळी
विभाग प्रमुख, स्थापत्य अभियांत्रिकी विभाग

प्रकल्प संस्था

राजारामबापू इन्स्टिट्यूट ऑफ टेक्नॉलॉजी, राजारामनगर. (1740)



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ

(स्वायत्त) (ISO: ९००१:२०१५) (ISO/IES: २७००१-२०१३)

शासकीय तंत्रनिकेतन इमारत, चौथा मजला, ४९, खेरवाडी, बांद्रा (पूर्व), मुंबई - ४०० ०५१.

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१७०/१६१

Email : director@msbte.com

Web : www.msbte.org.in



प्रास्ताविक

महाराष्ट्र राज्यातील पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षणामध्ये विद्यार्थ्यांचे रोजगार कौशल्य विकसित करून विद्यार्थ्यांचा सर्वांगीण विकास घडवून आणण्याकरिता महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ कटिबद्ध आहे. उद्योगधंद्यातील बदलत्या तंत्रज्ञानाशी संबंधित गरजा लक्षात घेऊन महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाकडून पदविका अभ्यासक्रम वेळोवेळी अद्यावत करण्यात येतो. अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रम शिकत असतांना संकल्पनात्मक ज्ञान, सुसंगत संदर्भ, प्रश्न विचारणे, विश्वसनीय पुरावे, कारणमीमांसा आणि सुस्पष्ट निकष यांचा वापर करून अर्थाची उकल करण्याची, विश्लेषण व मूल्यमापन करण्याची तसेच तर्काने अनुमान काढण्याची क्षमता म्हणजेच चिकित्सक विचार विद्यार्थ्यांमध्ये अधिक दृढ होतील असा मला विश्वास आहे. जेव्हा विद्यार्थी ज्ञान मिळवण्याच्या माध्यमाशी पूर्णपणे परिचित आणि सोयीस्कर असतात, तेव्हा त्यांच्यासाठी वर्गातील चर्चेत भाग घेणे सोपे होते, संकल्पनात्मक व सैद्धांतिक बाबींचे आकलन परिपूर्ण होते, संज्ञानात्मक क्षमता सुधारते आणि त्यांचा आत्मविश्वास देखील वाढतो. या सर्व गोष्टींचा विचार करून मंडळाकडून शैक्षणिक सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आलेली आहे. भारत देश हा खेड्यापाड्यातून विकसित झालेला देश असून ग्रामीण भागातील विद्यार्थ्यांना तांत्रिक शिक्षण घेतांना भाषेचा अडसर न येता तांत्रिक बाबींचा आशय समजून घेणे शक्य होईल या दृष्टिकोनातून महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाने पदविका स्तरावरील तांत्रिक शिक्षणाकरिता विद्यार्थ्यांना मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय शैक्षणिक वर्ष २०२१-२२ पासून उपलब्ध करून दिलेला आहे.

राष्ट्रीय शैक्षणिक धोरण-२०२० प्रादेशिक भाषेतील शिक्षणास प्रोत्साहन देते, ज्यामुळे विद्यार्थ्यांना तांत्रिक अभ्यासक्रमांसाठी प्रादेशिक भाषांतून शिक्षणाचे माध्यम निवडता येते. सदर धोरणामुळे प्रादेशिक भाषांमध्ये तांत्रिक सामग्री आणि अभ्यास सामग्रीचा विकास आणि भाषांतर निर्माण करण्याची आवश्यकता आहे. त्यास अनुसरून मंडळाने मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय द्वितीय व तृतीय वर्षाकरिताही उपलब्ध करून देण्यात आला आहे. तसेच त्याकरिताची शैक्षणिक सामग्रीही संबंधित भागधारकरांना उपलब्ध करून देण्यात येत आहे.

पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षण अधिक दर्जेदार करण्यासाठी महाराष्ट्रातील अनुभवी व तज्ञ अध्यापकांनी व्यवहारिक मराठी भाषा व इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावली यांचा वापर करून मराठी - इंग्रजी भाषेचा सुवर्णमध्य साधण्याचा प्रयत्न केलेला आहे. मंडळाच्या स्तरावर गठीत सुकाणू समितीमार्फत सदर शैक्षणिक सामुग्रीचा दर्जा, तसेच इतर बाबींची तपासणी करण्यात आलेली आहे. त्यामुळे सदर शैक्षणिक सामुग्री अधिक सम्मन्न झालेली असून विद्यार्थी त्यांच्या व्यक्तिमत्त्वाचा सुसंवादी आणि सर्वांगीण विकास साधतील. परिणामतः विश्वस्तरीय मनुष्यबळाच्या गरजा पूर्ण करण्यात महाराष्ट्र राज्य अग्रेसर राहील व पर्यायाने राष्ट्रनिर्मिती करीता निश्चितच हातभार लागेल, असा मला विश्वास आहे.

अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रमातील प्रमुख विषयांची मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक शैक्षणिक सामुग्री बनविण्यासाठी अध्यापक व सुकाणू समितीचे सदस्य यांनी दर्शविलेले समर्पण व वचनबद्धता कौतुकास पात्र आहे, या सर्वांचे मी मनः पूर्वक अभिनंदन करतो !


(प्रमोद नाईक)

संचालक

म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई.

अनुक्रमणिका (INDEX)

Sr. No.	Name of Unit	Page No.
1	जिओलोजी आणि जिओटेक्निकल इंजिनीअरिंगचा आढावा (Overview of Geology and Geotechnical Engineering)	1
2	मातीचे भौतिक आणि इन्डेक्स गुणधर्म (Physical and Index Properties of Soil)	12
3	मातीची परमेयबिलिटी आणि शियर स्ट्रेंथ (Permeability and Shear Strength of Soil)	51
4	मातीचे कॉम्पॅक्शन आणि स्थिरीकरण (Compaction and Stabilization of Soil)	70
5	साइट तपासणी आणि मातीची क्षमता (Site Investigation and Bearing Capacity of Soil)	94

युनिट 1. जिओलोजी आणि जिओटेक्निकल इंजिनीअरिंगचा आढावा (Overview of Geology and Geotechnical Engineering)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome)

CO1- दिलेल्या परिस्थितीमध्ये जिओलोजी आणि जिओटेक्निकल अभियांत्रिकीचे मूलभूत ज्ञान लागू करा.

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes)

TLO 1.1 नागरी अभियांत्रिकी क्षेत्रात जिओलोजीचे महत्त्व स्पष्ट करा.

TLO 1.2 दिलेल्या प्रकारच्या रॉकच्या उत्पत्तीवर आधारित वर्गीकृत करा.

TLO 1.3 बांधकाम साहित्य म्हणून मातीचे महत्त्व दर्शविते.

TLO 1.4 नागरी अभियांत्रिकीमध्ये जिओटेक्निकल अभियांत्रिकीच्या महत्त्वाचे प्रमाण

1.1.1 जिओलोजीचा परिचय (Introduction to Geology):

पृथ्वीच्या अभ्यासाचा विज्ञान,

- ते पृथ्वीच्या मूळ, वय, आतील किंवा रचना आणि इतिहासाचा प्रारंभ करते.
- हे उत्क्रांती आणि सुधारणा आणि विविध पृष्ठभागाच्या वैशिष्ट्यांचे विलुप्त करण्याचा
- ते पृथ्वीच्या भौतिक बनवण्याचा प्रयत्न करतात.
- हे पेट्रोलियम आणि कोळसा तसेच लोह, तांबे आणि युरेनियम सारख्या धातूंचे स्थान आणि व्यवस्थापन करण्याचा प्रयत्न करतो.

1.1.2 जिओलोजीच्या शाखा (Branches of Geology):

1. भौतिक भूविज्ञान (Physical geology)
2. भूमि विज्ञान (Geomorphology)
3. खनिज विज्ञान (Mineralogy)
4. पेट्रोलॉजी (Petrology)
5. ऐतिहासिक भूविज्ञान (Historical geology)
6. संरचनात्मक भूविज्ञान (Structural geology)
7. आर्थिक भूविज्ञान (Economic geology)
8. अभियांत्रिकी भूविज्ञान (Engineering geology)
9. भूगोल इन्फॉर्मेटिक्स (Geo informatics)

1. भौतिक भूविज्ञान (Physical geology): ते पृथ्वीच्या विविध पृष्ठभागाच्या वैशिष्ट्यांचे उत्पत्ती, विकास आणि अंतिम नशिबाचा हाताळते आणि त्याची रचना देखील. हे वारा, पाऊस, वाहणारे पाणी, बर्फ, ज्वालामुखी आणि भूकंप सारख्या भौतिक एजंटंनी बजावलेल्या भूमिकेचा अभ्यास आहे.

2. भूमि विज्ञान (Geomorphology): ते पृथ्वीच्या जमिनीच्या पृष्ठभागाच्या वैशिष्ट्यांशी हाताळते आणि त्यांचे विकास, रचना, जागा आणि वेळेतील बदल समाविष्ट करते. यात पर्वत, मैदान, प्लेटस, व्हॅली आणि बेसिन आणि संबंधित जमीन स्वरूपाचा विकास आणि व्यवस्थेचा अभ्यास समाविष्ट आहे.

3. खनिज विज्ञान (Mineralogy): खनिजांच्या निर्मिती, घटना, एकत्रीकरण, गुणधर्म आणि वापराचा अभ्यास हाताळतो.

- 4. पेट्रोलॉजी (Petrology):** ते विविध प्रकारच्या खडकांच्या अभ्यासाचा अभ्यास करतात, त्यांचे घटना पद्धत, त्यांची रचना, बनावट, संरचना, भूवैज्ञानिक आणि भौगोलिक वितरण.
- 5. ऐतिहासिक भूविज्ञान (Historical geology):** ते खडकांमधून निर्णय घेणारे पृथ्वीच्या भूतकाळाच्या इतिहासाचा अभ्यास करतात. त्यात पॅलेओजिओग्राफी, पॅलेओटोलॉजी आणि स्ट्रॅटिग्राफी समाविष्ट आहे. हे जमीन आणि समुद्रांची चित्रे, पृथ्वीवरील सुरुवातीच्या काळातील हवामान आणि जीवन देते.
- 6. संरचनात्मक भूविज्ञान (Structural geology):** ते विज्ञान, वर्गीकरण, विकासाचे कारण आणि खडकाच्या पृष्ठभागाच्या संरचनात्मक वैशिष्ट्यांशी संबंधित इतर सर्व पैलूंचा अभ्यास करतात. संरचनात्मक वैशिष्ट्ये फोल्ड, दोष आणि जोडू आहेत.
- 7. आर्थिक भूविज्ञान (Economic geology):** ते पृथ्वीवर अस्तित्वात असलेल्या खनिज आणि खडके आणि सामग्रीचा अभ्यास करतात जे मानवांच्या फायद्यासाठी वापरले जाऊ शकते. यात पेट्रोलियम, कोळसा, बांधकाम दगड, नैसर्गिक वायू आणि लोह, तांबे आणि युरेनियम सारख्या सर्व धातूंचे खनिज तसेच रिफ्रेक्टरी, अब्रेसिव्ह, इन्सुलेशन आणि रसायनांसाठी खनिज समाविष्ट आहेत.
- 8. अभियांत्रिकी भूविज्ञान (Engineering geology):** नागरी अभियांत्रिकी क्षेत्रातील भूविज्ञानाचा अभ्यास आणि वापराचा प्रश्न हाताळतो. अभियांत्रिकी कामांचे स्थान, डिझाइन, बांधकाम, ऑपरेशन आणि देखभाल यावर परिणाम करणारे भूवैज्ञानिक घटक योग्यरित्या निराकरण करण्यासाठी अभियांत्रिकी सरावामध्ये भूवैज्ञानिक तत्वांचा वापर आहे.
- 9. भूगोल इन्फॉर्मेटिक्स (Geo informatics):** हे विज्ञान आणि तंत्रज्ञान आहे जे भूगोल, भूगोल, कार्टोग्राफी, फोटोग्राममेट्री, जीपीएस, जीआईएस आणि विज्ञान आणि अभियांत्रिकी संबंधित शाखा यासारख्या पृथ्वी विज्ञान पायाभूत सुविधांचा विकास आणि वापरते.

1.1.3 जिओलोजीचे महत्त्व (Importance of Geology):

- सबस्ट्रेटाचे स्वरूप समजून घेण्यासाठी भूविज्ञान महत्त्वाचे आहे आणि त्यामुळे महत्त्वाच्या संरचनेसाठी पायाची खोली निर्धारित करण्यात मदत करतो.
- भूगर्भशास्त्राला पृथ्वीच्या पृष्ठभागाखाली खडकांच्या गुणधर्मांचे समजून घेणे आवश्यक आहे जे भूकंप प्रतिरोध संरचना डिझाइन करण्यासाठी
- धरणे, पुल इत्यादींसाठी सर्वात योग्य साइट शोधणे भूवैज्ञानिक महत्त्वाचे आहे.
- भूजल सर्वेक्षण आणि संबंधित रिचार्जिंग प्रक्रियेत भूवैज्ञानिक महत्त्वाची भूमिका बजावते.
- बोगदळ उत्खनन प्रकल्पांमध्ये भूविज्ञान महत्त्वाचे आहे कारण ते खडकाच्या स्ट्रॅटर्स आणि त्याच्या अभियांत्रिकी गुणधर्मांबद्दल माहिती प्रदान करते.
- दगड क्रशिंग प्लांटसाठी कच्चा माल खोदणे देखील भूविज्ञान महत्त्वाचे आहे

1.1.4 पृथ्वीची रचना (Composition of Earth):

पृथ्वी अनेक स्तरांद्वारे बनलेली आहे, प्रत्येक वेगवेगळ्या रचना आहे:

A. क्रस्ट (Crust):

ग्रेनाइट आणि बेसॉल्ट सारख्या सिलिकेट खडकांपासून बनलेले पृथ्वीचे सर्वात बाहेरील थर. क्रस्ट बहुतेक ऑक्सिजन, सिलिकॉन, अ‍ॅल्युमिनियम, लोह, कॅल्शियम, सोडियम, पोटेशियम आणि मॅग्नेशियमचा

B. मॅन्टल (Mantle):

क्रस्टच्या खाली लेले थर लोह आणि मॅग्नेशियमने समृद्ध सिलिकेट खडकांपासून बनलेले आहे. मॅन्टलमध्ये लोह, ऑक्सिजन, सिलिकॉन, मॅग्नेशियम, अ‍ॅल्युमिनियम, कॅल्शियम, सोडियम आणि पोटेशियम असतात.

C. कोअर (Core):

लोह आणि निकेलचा बनलेला पृथ्वीचा सर्वात आतील थर. कोरमध्ये एक द्रव बाह्य कोर आहे जो पृथ्वीचा चुंबकीय क्षेत्र तयार करतो आणि एक घन आतील कोर आहे.

D. वातावरण (Atmosphere):

पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील थर, नायट्रोजन, ऑक्सिजन, कार्बन डायऑक्साइड, पाण्याच्या वाष्प आणि इतर वायू यांचा बनलेला

स्पष्टीकरण (Explanation):

- क्रस्ट आणि वरच्या मॅन्टल लिथोस्फीयर बनते, जे टेक्टोनिक प्लेटमध्ये तुटलेले आहे.
- खालच्या मॅन्टल खूप जाड आहे आणि त्यात वितळलेले खडक समाविष्ट आहेत जे संवहन प्रवाहांमध्ये हलतात.
- पृथ्वीच्या वातावरणाची रचना सुमारे 78% नायट्रोजन, 20% ऑक्सिजन आणि 1% पाण्याच्या वाष्प आहे. उर्वरित 1% कार्बन डायऑक्साइड, मिथेन, नाइट्रस ऑक्साइड आणि ओजोन सारख्या ट्रेस वायू बनलेले आहेत.

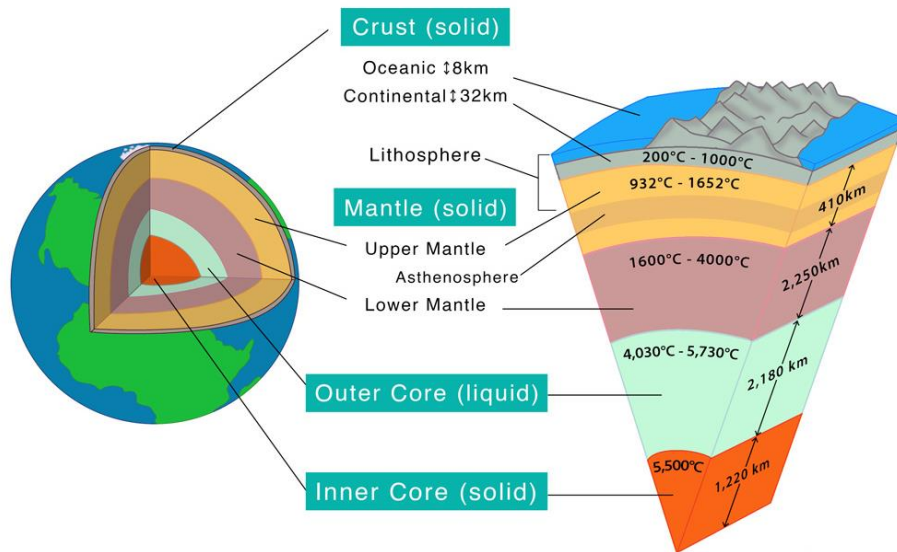


Figure 1.1 पृथ्वीची रचना
(स्रोत: <https://shorturl.at/IFtaW>)

1.2.1 पेट्रोलॉजी (Petrology):

पेट्रोलॉजी हा खडकांचा अभ्यास, त्याची रचना, पोत, रचना आणि ते कसे तयार आणि बदलतात. ही भूविज्ञानाची एक शाखा आहे जी खनिज विज्ञानाशी जवळून संबंधित आहे.

1.2.2 रॉकची व्याख्या (Definition of a Rock):

खडक हे खनिजांचे घन वस्तुमान आहे जे नैसर्गिकरित्या घडतात. खडके एक किंवा अधिक खनिजांमधून बनलेले आहेत जे नैसर्गिक प्रक्रियांद्वारे एकत्र केले जातात.

1.2.3 रॉकचे वर्गीकरण त्यांच्या उत्पत्तीनुसार (मूळ पद्धत) (Classification of Rocks based on their Genesis (Mode of Origin):

तीन प्रकारचे खडक आहेत: अग्नि, गाळाचे आणि रूपांतरित खडक.



इग्निअस रॉक (Igneous Rocks): ज्वालामुखीच्या स्फोटाच्या वेळी, मॅग्मा म्हणतात की वितळलेले वस्तुमान उच्च तापमानावर पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर येतो. हे वितळलेले वस्तुमान थंड केल्यानंतर; ते घन वस्तुमान बनते ज्याला अग्निअस रॉक म्हणतात.

सेडीमेंटरी रॉक (Sedimentary Rocks): पावसाचे पाणी, वारा, बर्फ, सूर्यकिरण इत्यादीसारख्या हवामानामुळे, प्राथमिक किंवा मुख्य खडके तुटलेले आहेत आणि हळूहळू नदी किंवा समुद्राच्या तळाशी वर्षानुवर्षे जमा होतात. त्यामुळे युगानंतर खडकांची निर्मिती तलछटे खडक म्हणतात.

मेटामॉर्फिक रॉक (Metamorphic Rocks): हे खडके आहेत जे तापमान, दबाव आणि रासायनिक वातावरणाच्या प्रभावाखाली अग्नि आणि तलछटे खडके तयार आहेत. तापमान, दबाव आणि रासायनिक वातावरणाच्या कारवाईखाली, खनिज पदार्थ पुनर्क्रिस्टलाइज करतात, विद्यमान खडकांना उच्च घनता देते.

1.2.4.1 इग्निअस रॉकचे वर्गीकरण (Classification of Igneous Rocks):

अग्नि खडकांना त्यांच्या खनिज रचना आणि पोत (खनिज क्रिस्टलच्या आकार आणि व्यवस्थेद्वारे निर्धारित केले जाते) आधारित वर्गीकृत केले जाते. ते मोठ्या प्रमाणात खालील प्रकारांमध्ये वर्गीकृत आहेत:

i) प्लुटोनिक रॉक (Plutonic rocks): हे खडके वितळलेले वस्तुमान क्रिस्टलीकरण प्रक्रियेद्वारे तयार होतात, म्हणजेच मॅग्मा पृथ्वीच्या पृष्ठभागापासून 35 मीटरपेक्षा जास्त खोलीवर. क्रिस्टलीकरण धीमी आहे, पुढे ते भरपूर धान्य क्रिस्टल तयार करते, म्हणजेच प्लुटोनिक रॉक.

ii) हायपाबायसल रॉक (Hypabyssal rocks): हे खडके पृथ्वीच्या पृष्ठभागापासून सुमारे 30 मीटर अंतरावर मॅग्माच्या क्रिस्टलीझेशन प्रक्रियेद्वारे तयार होतात. जलद थंड झाल्यामुळे, बारीक धान्य क्रिस्टल तयार होतात जे हायपॅबिसल रॉक शिवाय काहीही नाही.

iii) वोल्कॅनिक रॉक (Volcanic rocks): हे खडके आहेत जे वितळलेले वस्तुमान घट्ट्याद्वारे तयार होतात, म्हणजेच पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर किंवा खूप कमी खोलीवर मॅग्मा. जलद थंड झाल्यामुळे, बारीक धान्य क्रिस्टल ज्वालामुखी खडक म्हणून तयार केले जातात.

1. खनिज रचनेनुसार इग्निअस रॉकचे वर्गीकरण (Classification of Igneous Rocks by Mineral Composition):

फेल्सिक (ग्रॅनाइटिक): सिलिकॉनने समृद्ध (क्वार्ट्ज आणि फेल्डस्पार सारख्या हलके रंगीत खनिज)

उदाहरण: ग्रेनाइट (हस्तक्षेप), रियोलाइट (एक्सट्रूसव्ह)

इंटरमीडिएट (अँडेसिटिक): प्लॅगियोक्लेज आणि अम्फिबोल सारख्या खनिजांसह संतुलित सिलिका सामग्री

उदाहरण: डायओराइट (हस्तक्षेप), अँडेसाइट (एक्सट्रूसव्ह)

मॅफिक (बेसॅल्टिक): लोह आणि मॅग्नेशियममध्ये समृद्ध (पायरोक्सिन आणि ओलिक्लीन सारख्या गडद खनिज)

उदाहरण: गॅब्रो (हस्तक्षेप), बेसॅल्ट (एक्सट्रूसव्ह)

अल्ट्रामॅफिक: अतिशय कमी सिलिका सामग्री, ओलिक्लीन सारख्या गडद खनिजांवर वर्चस्व असलेले

उदाहरण: पेरिडोटाइट (हस्तक्षेप), कोमाटाइट (एक्सट्रूसव्ह)

2. पोत द्वारे इग्निअस रॉकचे वर्गीकरण (Classification of Igneous Rocks by Texture):

फॅनेरिटिक (मोठे दानाचे): धीमी थंड झाल्यामुळे मोठ्या दृश्यमान क्रिस्टल

उदाहरण: ग्रेनाइट

अफॅनिटिक (फाइन-ग्रेन): जलद कूलिंगमुळे लहान किंवा दृश्यमान क्रिस्टल नाही

उदाहरण: बेसॅल्ट

पोर्फिरिटिक: बारीक-दानी मॅट्रिक्समध्ये एम्बेड केलेले मोठे क्रिस्टल (ड्युअल कूलिंग रेट)

उदाहरण: पोर्फिरिटिक अँडेसाइट

काचेची: अत्यंत जलद थंड झाल्यामुळे क्रिस्टल निर्मिती नाही

उदाहरण: ओबसिडियन

व्हेसिकुलर: वायू बुडबुडे (व्हेसिकल) समाविष्ट आहेत

उदाहरण: प्यूमस, स्कोरिया

पायरोक्लास्टिक (फ्रॅगमेन्टल): ज्वालामुखी तुकड्यांनी बनलेले

उदाहरण: टफ

1.2.4.2 इग्निअस रॉकचे अभियांत्रिकी वापर (Engineering Uses of Igneous Rock):

(i) अग्नि खडकांचा वापर कंक्रीटसाठी एकत्रित म्हणून केला जाऊ शकतो

(ii) ते दगड चखरखाव कार्यात वापरले जाऊ शकते.

(iii) ते सजावटीच्या कार्यासाठी वापरले जाऊ शकते.

(iv) आर्च बांधकामात वापरले जाऊ शकते

1.2.5.1 सेडीमेंटरी रॉकचे वर्गीकरण (Classification of Sedimentary Rocks):

गाळाचे खडकांची मूळ, रचना आणि पोत आधारित वर्गीकृत केली जाते. ते पूर्वी विद्यमान खडके, सेंद्रिय पदार्थ किंवा रासायनिक वर्षातून प्राप्त झालेल्या तलछटांच्या संचयन आणि लिथिफिकेशनमधून तयार होते.

1. मूळ वर्गीकरण (Classification by Origin):

A. क्लास्टिक (डिट्रिटल) सेडीमेंटरी रॉक (Clastic (Detrital) Sedimentary Rocks):

इतर खडकांच्या तुकड्यांमधून तयार झालेले (क्लास्ट्स) एकत्र सिमेंटेड

धान्याच्या आकारावर आधारित वर्गीकृत (Classified based on grain size):

ग्रुप (गोलाकार क्लास्ट)/ब्रेक्सीया (कोणीय क्लास्ट)-रडक-ग्रेन

वालुओदगड-मध्यम धान्य (प्रामुख्याने वालुओदगड आकाराचे कण)

सिल्टस्टोन-फान-ग्रेन (सिल्ट-आकाराचे कण)

शेल-अतिशय बारीक धान्य (माती-आकाराचे कण)

B. रासायनिक सेडीमेंटरी रॉक (Chemical Sedimentary Rocks):

द्रवणातून खनिजांच्या पाणसातून तयार झालेली.

उदाहरणे: चूनादगड (कॅल्शियम कार्बोनेट), डोलोस्टोन (कॅल्शियम मॅग्नेशियम कार्बोनेट), चर्ट (सिलिका), बाष्पीकरण (जसे की रॉक मीठ आणि जिप्सम)

C. सेंद्रिय (जैवजीनिक) सेडीमेंटरी रॉक (Organic (Biogenic) Sedimentary Rocks):

सेंद्रिय सामग्रीच्या जमा झाल्यापासून तयार झालेला, जसे की वनस्पती किंवा प्राण्यांचे अवशेष.

उदाहरण: कोळसा (संकुचित वनस्पती सामग्री), चाक (सूक्ष्म सागरी जीवांत), जीवाश्म चूनादगड (शेल आणि कंकाल तुकडे)

2. पोत वर्गीकरण (Classification by Texture):

क्लास्टिक पोत: दृश्यमान धान्य किंवा कणांसह बनलेले.

नॉन-क्लास्टिक पोत: गुळगुळीत, क्रिस्टलीय किंवा मायक्रोक्रिस्टलीन (रासायनिक आणि सेंद्रिय खडकांमध्ये सामान्य)

3. अतिरिक्त विचार (Additional Considerations):

वर्गीकरण: धान्याचे आकार एकसमानता

गोलाकार: धान्याच्या किती गुळगुळीत काठे असतात

सिमेंटेशन: धान्य बंधन खनिज प्रकार

1.2.5.2 सेडीमेंटरी रॉकचे अभियांत्रिकी वापर (Engineering Uses of Sedimentary Rocks):

(i) क्लास्टिक ठेव हे तलछटे खडकाचा प्रकार आहे ज्याचा वापर बांधकाम साहित्य म्हणून केला जाऊ शकतो.

(ii) वाळूचा वापर खडबड दगड म्हणून केला जातो आणि ते फ्लोरिंग साहित्य म्हणून देखील वापरले जाऊ शकते.

(iii) माती हा एक प्रकारचा तलछटे खडक आहे ज्याचा वापर सिरेमिक सामग्री आणि सिमेंट तयार करण्यासाठी केला जाऊ शकतो.

iv) चूने दगड सिमेंट उत्पादनातील मुख्य घटकांपैकी एक म्हणून वापरला जाऊ शकतो.

1.2.6.1 मेटामॉर्फिक रॉकचे वर्गीकरण (Classification of Metamorphic Rocks):

मेटामॉर्फिक खडकांना त्यांच्या पोत आणि खनिज रचनेवर आधारित वर्गीकृत केले जातात, जे उष्णता, दबाव आणि रासायनिक प्रक्रियेमुळे बदलतात.

1. पोत वर्गीकरण (Classification by Texture):

A. पानातील मेटामॉर्फिक रॉक (Foliated Metamorphic Rocks):

खनिजांच्या समांतर संरेखनाद्वारे वैशिष्ट्यीकृत, खडकाला स्तरित किंवा बँड देखावा देते.

स्लेट: फाइन-ग्रेन, पातळ शीटमध्ये विभागले जाते (शेलपासून)

फिलाइट: स्लेटपेक्षा थोडा गंभीर, रेशमी शीन

स्किस्ट: मध्यम ते खडबड-दानाचे, दृश्यमान माइका फ्लेक्स (शेल किंवा मडस्टोनमधून)

ग्रेइस: खडकांसह खडकावलेले खडकावलेले (ग्रेनाइट किंवा तलछटे खडकांमधून)

B. नॉन-पातळ (मोठ्या) मेटामॉर्फिक रॉक (Non-Foliated (Massive) Metamorphic Rocks):

दृश्यमान लेयरिंग नाही; खनिज यादृच्छिकपणे व्यवस्थित केले जातात.

संगमरमर: क्रिस्टलीय, चूनादगड किंवा डोलोस्टोनमधून तयार केले

क्वार्ट्झाइट: कठोर, घट, क्वार्ट्ज वालुत्तीच्या दगडांपासून तयार केले

हॉर्नफेल्स: बारीक-दानीचे, विविध खडकांच्या संपर्क मेटामॉर्फिज्मद्वारे तयार केले जाते: कोळशाचा कठोर, चमकदार स्वरूप

2. खनिज रचनेनुसार वर्गीकरण (Classification by Mineral Composition):

पेलिटिक रॉक: अल्युमिनियम खनिजांमध्ये समृद्ध (उदाहरणार्थ, स्लेट, स्किस्ट)

कॅल्केयस रॉक: कॅल्शियम कार्बोनेट समाविष्ट आहे (उदाहरणार्थ, संगमरमर)

मॅफिक रॉक: मॅग्नेशियम आणि लोह समाविष्ट आहे (उदाहरणार्थ, अम्फिबोलाइट)

क्वार्ट्ज-फेल्डस्पॅथिक रॉक: क्वार्ट्ज आणि फेल्डस्पार (उदाहरणार्थ, ग्रेइस) मध्ये समृद्ध

3. मेटामॉर्फिज्मचे प्रकार (Types of Metamorphism):

संपर्क मेटामॉर्फिज्म: मॅग्मातून उष्णतेमुळे, नॉन-पातळ खडके तयार करतात

प्रादेशिक मेटामॉर्फिज्म: मोठ्या भागावर उष्णता आणि दबावामुळे, पानाच्या खडकांची निर्मिती करतात

हायड्रोथर्मल मेटामॉर्फिज्म: गरम द्रव यांच्याशी रासायनिक परस्परसंवादामुळे

डायनॅमिक मेटामॉर्फिज्म: दोष झोनवर तीव्र दबाव असल्याने.

1.2.6. मेटामॉर्फिक रॉकचे अभियांत्रिकी वापर (Engineering Uses of Metamorphic Rocks):

(i) रस्ता बांधकामासाठी.

(ii) खडकाचा स्वरूप असलेला चूनादगड कंक्रीट आणि सिमेंट तयार करण्यासाठी वापरला जातो.

(iii) ध्वज किंवा पातळ स्लॅबच्या स्वरूपात फुटिंग आणि छतासाठी.

(iv) चिठ्ठार, लिंटेल्, कव्हर मजला आणि इमारतींसाठी.

(v) सोने, नीलम, हीरा इ. सारख्या मौल्यवान खनिज अचूक करण्यासाठी

1.3.1 मातीची व्याख्या आहे (IS definition of Soil):

- 'माती' या शब्दाचा वेगवेगळ्या विषयांनुसार वेगवेगळ्या अर्थ असतात.
- उदाहरणार्थ, कृषी किंवा भूवैज्ञानिकांद्वारे मातीची व्याख्या नागरी अभियंता वापरलेल्या परिभाषेपेक्षा वेगळी आहे.
- म्हणूनच मातीमध्ये खालील दिलेल्या विविध व्याख्या आहेत

(i) भारतीय मानकांनुसार 2809-1972 (मातीची कोड परिभाषा आहे) (As per Indian standards 2809-1972 (IS code definition of soil)):

मातीची परिभाषा "खडकांच्या भौतिक आणि रासायनिक विघटनामुळे निर्मितीचे घन कणांचे इतर असंकलित जमा" म्हणून आहे.

(ii) भूवैज्ञानिकांची व्याख्या (Geologists definition):

भूवैज्ञानिक विचारतात की उर्वरित पृथ्वीच्या क्रस्टला खडक म्हणून मानतात, तलछटाच्या बंधन शक्तीची तीव्रता असली तरीही.

3) नागरी अभियांत्रिकी व्याख्या (Civil engineering definition): नागरी अभियंतासाठी, "मातीचा अर्थ असा आहे की सर्व नैसर्गिकरित्या तुलनेने असंख्य पृथ्वी सामग्री, सेंद्रिय किंवा अकार्बनिक वर्णनात असतात जे बेड रॉकवर असतात. यात भिन्न सामग्री समाविष्ट आहेत जसे की दगड, वाळू, ग्रेव्हल, माती आणि सिल्ट्स"

4) कृषी व्याख्या (Agriculturists definition):

कृषी मातीची परिभाषा "पृथ्वीचा केवळ वरच्या थर जो वनस्पतींना समर्थन देतो, टिकवून ठेवतो आणि पोषित करतो".

v) डॉ. टेरझागी (Dr. Terzaghi) (ज्याला माती यांत्रिकचे वडील म्हणून म्हटले जाते) यांच्या मते:

- टेरझागीच्या मते, माती ही एकसमान, आइसोट्रोपिक आणि पूर्णपणे संतृप्त सामग्री आहे. याचा अर्थ असा की मातीमध्ये प्रत्येक दिशेने समान रचना आणि भौतिक गुणधर्म असतात.
- दुसरीकडे, खडके हे खनिज कणांचे एकत्र आहेत जे मजबूत आण्विक शक्तींद्वारे एकत्र जोडलेले आहेत. पण माती आणि खडकांमधील फरक फारसा स्पष्ट नाही.
- अनेक कठोर मातीला सॉफ्ट रॉक किंवा उलट म्हणता येईल. "

1.3.2 बांधकाम साहित्य म्हणून नागरी अभियांत्रिकीमध्ये मातीचे महत्त्व (Importance of Soil in Civil Engineering as Construction Material):

खालील बांधकाम साहित्य म्हणून मातीचे विविध अनुप्रयोग नागरी अभियांत्रिकीमध्ये त्याचे महत्त्व दर्शवितात:

1. विट आवश्यक प्रमाणात पाण्याच्या योग्य जोडण्याचा वापर करून क्लेयरी मातीतून बनवतात. मातीतून तयार केलेले विटांचा वापर विविध बांधकाम क्रियाकलापांसाठी केला जाऊ शकतो जसे
 - विटची चखरखरी, रोड मेटल, वॉटर प्रूफिंग कार्य इत्यादी कमी किमतीच्या घरांमध्ये चिखलाच्या प्लास्टर म्हणून देखील वापरली जाऊ शकते.
 - क्लेयरी मातीचा वापर चिखलाच्या भिंती बांधण्यासाठी केला जाऊ शकतो आणि त्याचा वापर विटांच्या चखरासाठी तसेच दगड चखराच्या कामात देखील केला जाऊ शकतो.
 2. रिटेंनिंग वॉल स्ट्रक्चरमध्ये माती भरण्यासाठी साहित्य म्हणून वापरली जाते.
 3. माती विशेषतः नॅल बांधल्यानंतर भरणारे साहित्य म्हणून वापरली जाते.
 4. पाण्याच्या बांधणीसाठी माती वापरली जाते. (डब्ल्यूबीएम रस्ते).
- अनेक रस्ते कार्यात; माती बाइंडर म्हणून वापरली जाऊ शकते. माती OMC (म्हणजेच सर्वोत्तम पाणी सामग्री) वर संकुचित केली जाते आणि अशा प्रकरणात, माती गॅलास्ट आणि दगडांच्या अंतरात भरली जाते. त्यामुळे WBM रस्त्यांवर माती एक बंधन सामग्री म्हणून काम करते.

5. मृदय धरणाच्या परिस्थितीत संपूर्ण हार्टिंग झोन सर्वोत्तम पाणी सामग्रीसह मातीने बांधला जातो जेणेकरून मृदय थर बनवतो. मुरम देखील हार्टिंग झोन कव्हर करण्यासाठी वापरला जातो.
6. नदी संरक्षण कार्यात माती देखील वापरली जाऊ शकते.
7. माती सिमेंट मिश्रण उप-ग्रेड म्हणून वापरले जाऊ शकते. महाराष्ट्र राज्य तांत्रिक शिक्षण मंडळ
8. माती फिल्टर म्हणून देखील वापरली जाऊ शकते.
9. त्याच्या अपरिवर्तनीय स्वभावामुळे पाणी धरण्यासाठी देखील वापरली जाऊ शकते.

1.3.3 संरचनाच्या पाया बेड म्हणून मातीचे महत्त्व (Importance of Soil as Foundation Bed of Structure):

पाया सामग्री म्हणून माती महत्त्वाची भूमिका बजावते.

खालील पाया सामग्री म्हणून मातीचे विविध अनुप्रयोग आहेत:

1. माती बहुतेक संरचना बांधल्या जातात.
2. विविध स्तरांवरील माती मऊ माती, मुरम, हार्ड मुरम, रॉक इत्यादी म्हणतात आणि त्याचा वापर पृथ्वी धरण, गुरुत्वाकर्षण धरण, रेल्वे, रस्ते, बिल्डिंग फाउंडेशन, ब्रिज पिर फाउंडेशन सारख्या फाउंडेशन म्हणून केला जाऊ शकतो. त्याच्या सहन क्षमतेवर
3. जर मातीची असर क्षमता खराब असेल, तर ते वाढवले जाऊ शकते आणि त्याचा वापर संरचनासाठी पाया बेड म्हणून केला जाऊ शकतो.
4. माती-सिमेंट मिश्रण विविध रचनांच्या पायात उप-ग्रेड म्हणून वापरला जाऊ शकतो.
5. कोणत्याही रचनाचा पाया मातीवर राहतो आणि त्यामुळे ते कोणत्याही रचनाचे बेड म्हणून काम करते.
6. खालील विविध रचना आहेत ज्यामध्ये माती पाया बेड प्रदान करते:
 - a) पाया बांधणे (Building foundation)
 - b) ब्रिज पिर फाउंडेशन (Bridge pier foundation)
 - c) महामार्ग, रेल्वे (Highway, railways)
 - d) भुयार (Tunnels)
 - e) अर्धन धरण (Earthen dam)
 - f) गुरुत्वाकर्षण धरण (Gravity dam)
 - g) कालवा (Canal)

1.4 फाउंडेशन डिझाइन, फुटपाथ आणि भूतांत्रिक अभियांत्रिकीचे क्षेत्र अनुप्रयोग (Field Applications of Geotechnical Engineering for Foundation Design, Pavement Design, Design of Earth Retaining Structures, Design of Earthen Dam):

पृथ्वी संरचना डिझाइन, पृथ्वी संरचना डिझाइन, पृथ्वी धरण डिझाइन:

भूतांत्रिक अभियांत्रिकी क्षेत्रात काही महत्त्वाचे अनुप्रयोग समाविष्ट आहेत:

- A) पाया डिझाइन (Foundation design)
- b) फुटपाथ डिझाइन (Pavement Design)
- c) माती राखणारे संरचनेचे डिझाइन (Design of earth retaining structures)
- d) अर्धन धरण डिझाइन (Design of earthen dams)

e) तटबंदीचे रचना (Design of embankments)

f) भूमिगत संरचना (Underground structures)

A) फाउंडेशन डिझाइन (Foundation Design): इमारत, पुल, महामार्ग किंवा धरण सारख्या प्रत्येक नागरी अभियांत्रिकी संरचना पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर किंवा पृथ्वीवर आहे. संरचनाचा भार मातीवर सुरक्षितपणे आणि कार्यक्षमतेने प्रसारित करण्यासाठी पाया आवश्यक आहे. म्हणून, मातीची सहन क्षमता आणि लोड केलेल्या क्षेत्राखाली तणाव वितरण, पाया सेटलमेंट, कंपन प्रभाव, जमिनीपाण्याचा प्रभाव इत्यादींचा ज्ञान हे माहित करण्यासाठी आवश्यक आहे.

b) फुटपाथ डिझाइन (Pavement Design): फुटपाथ ही मातीवर (सबग्रेड) ठेवलेली एक कठोर क्रस्ट आहे ज्यावर वाहने हलवू शकतात. फुटपाथ दोन प्रकारचे आहे किंवा लवचिक किंवा कठोर. फुटपाथ जाडी सबमिट्टी आणि त्याचे घटक भागांवर अवलंबून असते. हे वाहतूक, बांधकाम साहित्य, पृथ्वी भरणे किंवा कट करणे इत्यादींच्या लोडिंग तीव्रतेच्या पुनरावृत्तीवर देखील अवलंबून आहे.

c) माती राखणारे संरचनेचे डिझाइन (Design of Earth Retaining Structures): जेव्हा मातीच्या वस्तुमान पसरण्यासाठी आणि उतारासाठी पुरेशी जागा उपलब्ध नसल्यास, माती राखण्यासाठी संरचना आवश्यक आहे. माती त्याच्या दोन्ही बाजूंच्या वेगवेगळ्या पातळीवर ठेवण्यासाठी पृथ्वी राखण्याची संरचना देखील आवश्यक आहे. पृथ्वी राखणारे संरचनांच्या डिझाइनसाठी सक्रिय पृथ्वी दाब, निष्क्रिय पृथ्वी दाब, घनता आणि पाणी सामग्री यांचा ज्ञान आवश्यक आहे.

d) अर्धन धरणाची रचना (Design of Earthen Dam): मृत्तदेह धरणाच्या बांधकामात, मृत्तदेह मुख्य घटक आहे जे एकसमान आणि विषम असू शकते. म्हणून, त्याच्या डिझाइनला निर्देशांक गुणधर्म, प्लास्टिसिटी वैशिष्ट्ये, कण आकार वितरण, विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण, पारगम्यता, एकत्रीकरण, संकुचन आणि कतरण ताकद जमिनीच्या धरणाच्या अपयशामुळे मोठ्या प्रमाणावर आपत्ती निर्माण होऊ शकते, त्यामुळे त्याची रचना आणि बांधकाम अत्यंत काळजी घेते.

e) तटबंदीची रचना (Design of Embankment): पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर वरच्या आणि खाली असल्यामुळे, संरचनाची स्थिरता त्रास करू शकते. त्यामुळे भरणे आणि काटणे उतारांच्या स्थिर डिझाइनसाठी, तटबंदी किंवा काटणे इत्यादींच्या उतारांच्या डिझाइनसाठी काटणे ताकद, विश्रांतीचा कोन आणि घर्षण गुणांक यांचा ज्ञान आवश्यक आहे.

f) भूमिगत संरचना आणि विविध (Underground Structures and Miscellaneous): पाईप लाइन, बोगळे, भूमिगत इमारती इत्यादीसारख्या भूमिगत संरचनांच्या डिझाइन आणि बांधकामासाठी मातीची घनता, मातीची एकत्रीकरण, मातीची सहन क्षमता आणि उप-मातीच्या स्तरावरील पाण्याच्या स्थितीची आवश्यकता आहे.

महत्त्वाचे प्रश्न

दोन गुणांचे प्रश्न

1. Define Geology and state its branches.
2. Define soil as per IS.
3. Define a Rock and state one type of it.
4. Classify the rock based on its mode of origin.
5. Define Geotechnical engineering.

चार गुणांचे प्रश्न

1. Explain the importance of geology in civil engineering construction.
2. Explain the engineering uses of metamorphic rocks.
3. Explain the composition of earth in detail with diagram.
4. State various branches of Geology.
5. State types of soils as per mode of formation.

सहा गुणांचे प्रश्न

1. Explain the various field applications of geotechnical engineering in details.
2. Explain the importance of soil in civil engineering as a construction material.
3. Explain the classification of rocks in detail.
4. Explain necessity of Geology in Geotechnical Engineering.
5. Explain importance of Geotechnical engineering in Civil engineering.

युनिट 2. मातीचे भौतिक आणि इन्डेक्स गुणधर्म (Physical and Index Properties of Soil)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome)

दिलेल्या मातीच्या नमुन्याचे भौतिक गुणधर्म मोजा.

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes)

TLO 2.1 मातीच्या भौतिक गुणधर्मांचे विस्तृत वर्णन करा.

TLO 2.2 संबंधित पद्धती वापरून दिलेल्या मातीच्या नमुन्याचे इन्डेक्स गुणधर्म ठरवा.

TLO 2.3 दिलेल्या नमुन्याचे कणांचे आकार वितरण कर्व (Particle Size Distribution Curve) काढा आणि त्याचे विश्लेषण करा.

TLO 2.4 दिलेल्या मातीच्या नमुन्याचे अटरबर्ग सीमारेषा (Atterberg's Limits) काढलेल्या मूल्यानुसार विश्लेषण करा. Physical.

2.1 मातीचे भौतिक गुणधर्म:

2.1.1 माती एक त्रि-घटक प्रणाली म्हणून – [Soil as a Three Phase Diagram]

1. माती मुख्यतः ठोस कणांनी बनलेली असते, ज्यामध्ये ठिकठिकाणी अंतर किंवा व्हॉइड (voids) असतात. कणांच्या संपर्कातील संग्रहणाला सामान्यतः मातीचे कणकण किंवा मातीचे कॅल्सर म्हणतात.
2. हे अंतर असलेल्या शून्यांना हवेने किंवा पाण्याने किंवा दोन्ही हवे आणि वाटर यांनी भरले जाते. याचा अर्थ असा की मातीच्या एका घटकाला त्रि-घटक पदार्थ म्हणून समजता येईल, ज्यात काही ठोस [मातीचे कण], काही लिक्विड [पोर वाटर] आणि काही वायू [पोर हवा] असतात.

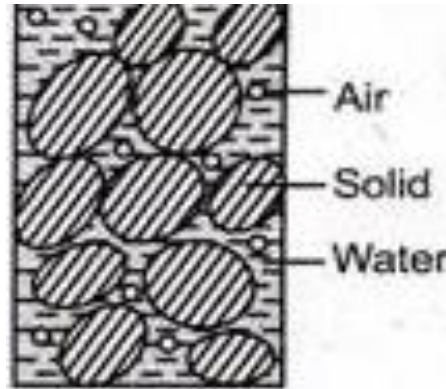


Figure 2.1 माती एक त्रि-घटक प्रणाली म्हणून [Soil as Three Phase System]

(स्रोत: MSBTE मॉडल उत्तर पेपर)

1. मातीचे प्रमाण सामान्यतः तीन घटकांची प्रणाली असते, ज्यात ठोस, लिक्विड आणि वायू घटक असतात.

2. मातीमध्ये असलेले वेगवेगळे घटक एकमेकांपासून वेगळे करता येत नाहीत. चांगल्या समजुतीसाठी, सर्व तीन घटकांना वेगवेगळ्या जागा व्यापत असल्याचे मानले जाते, जे चित्रात दाखवले आहे.

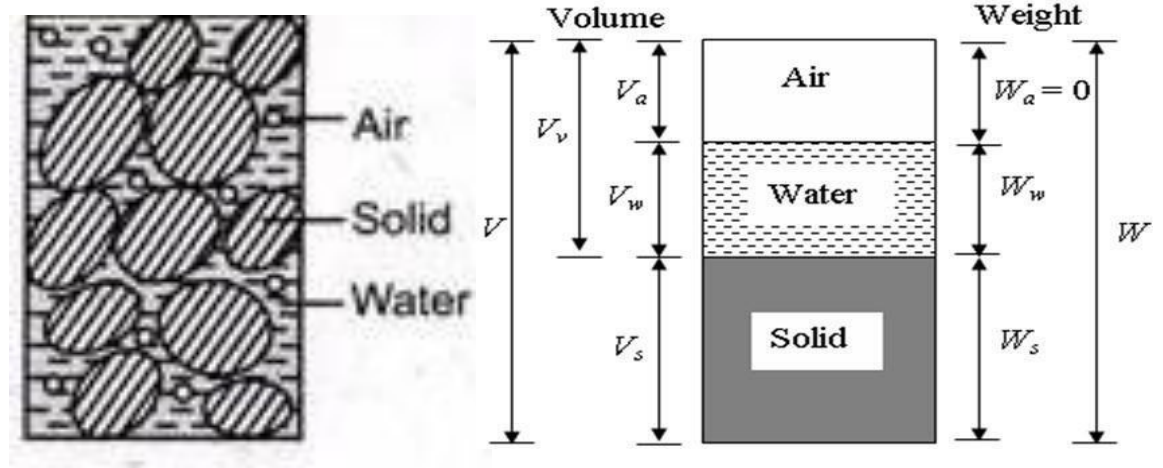


Figure 2.2 तीन टप्प्यांचा रेखाचित्र [Three Phase Diagram]

(स्रोत: MSBTE मॉडल उत्तर पेपर)

1. मातीच्या प्रमाणातील वेगवेगळ्या घटकांची रेखाचित्रात्मक प्रतिमा 'घटक रेखांकन (Phase Diagram)' म्हणून ओळखली जाते.
2. तीन घटकांचे रेखांकन आंशिकपणे सैचुरेशन [SATURATION] मातीसाठी लागू होते. $[0 < S < 1]$.
3. जेव्हा सर्व व्हॉइड (voids) पाण्याने भरलेली असतात, तेव्हा नमुना सैचुरेशन [SATURATION] होतो आणि त्यामुळे वायू घटक अनुपस्थित होतो.
4. जरी ओव्हन ड्राय मातीच्या नमुन्यात लिक्विड घटक अनुपस्थित असतो. त्यामुळे सैचुरेशन [SATURATION] आणि ओव्हन ड्राय मातीमध्ये, तीन घटकांची प्रणाली दोन घटकांच्या प्रणालीमध्ये कमी होते.

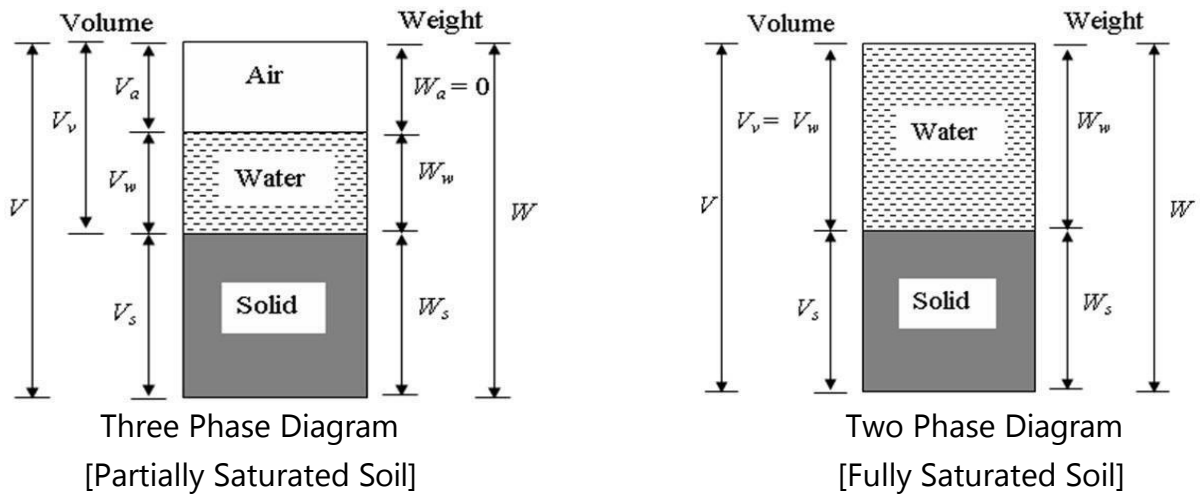


Figure 2.3 तीन आणि दोन टप्प्यांचे रेखाचित्र [Three and Two Phase Diagram]

(स्रोत: MSBTE Model Answer Paper)

$$1. \text{ एकूण वजन } = W = W_s + W_w$$

$$\text{एकूण आयतन } = V = V_s + V_a + V_w \dots\dots\dots [V_a \text{ लहान आहे ते दुर्लक्ष केले जाते}]$$

$$\begin{aligned} \text{कोरड्या परिस्थितीसाठी} \quad W &= W_s V \\ &= V_s + V_a \quad V = V_s + V_w \quad \text{[Dry Condition]} \end{aligned}$$

सैचुरेशन परिस्थितीसाठी [Saturation Condition]

$$\begin{aligned} W &= W_s + W_w \\ V &= V_s + V_w \end{aligned}$$

2.1.2 वाटर कन्टेन्ट [Water Content] [w] – ज्याला आर्द्रता कन्टेन्ट असेही म्हणतात. "हे पाण्याच्या वजनाचा [Ww] मातीच्या घन कणांच्या वजनासोबत [Ws] असलेला गुणोत्तर आहे."

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \dots\dots\dots \text{टक्केवारीत.}$$

- हे टक्केवारीत दर्शविले जाते.
- एका ओव्हन ड्राय मातीचे वाटर कन्टेन्ट शून्य असते, पण नॅचरल मातीची वाटर कन्टेन्ट सुमारे 60% असते.
- वाटर कन्टेन्टसाठी कोणतीही उच्च लिमिट नाही. ती 100% पेक्षा जास्त असू शकते.
- सूक्ष्म कण असलेल्या मातीच्या तुलनेत गट कण असलेल्या मातीमध्ये नैसर्गिक आर्द्रता कन्टेन्टचे मूल्य जास्त असते.

2.1.3 व्हॉइड रेशिओ [Void Ratio] [e] - "हे व्हॉइड्सचे एकूण आयतन [Vv] ते घन कणांचे आयतन [Vs] यांचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते."

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

- हे दशांशात व्यक्त केले जाते.
- सामान्यतः > 0 म्हणजे व्हॉइड रेशिओसाठी कोणतीही उच्च लिमिट नाही.
- सूक्ष्म कण असलेल्या मातीचा व्हॉइड रेशिओ सामान्यतः गट कण असलेल्या मातीच्या तुलनेत जास्त असतो.
- गट कण असलेल्या मातीमध्ये व्हॉइड्स स्पेस आकाराने सूक्ष्म कण असलेल्या मातीच्या तुलनेत मोठ्या असतात, परंतु एकूण व्हॉइड्स स्पेस सूक्ष्म कण असलेल्या मातीमध्ये सामान्यतः अधिक असतो.

2.1.4 पोरॉसिटी [Porosity] [n] - "हे व्हॉइड्सचे एकूण आयतन [Vv] ते मातीचे एकूण आयतन [V] यांचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते."

$$n = \frac{V_v}{V}$$

- हे टक्केवारीत व्यक्त केले जाते.
- पोरॉसिटीमध्ये एकूण आयतनात हवा, वाटर आणि मातीचे आयतन समाविष्ट असते. म्हणजेच, $V = V_a + V_w + V_s$
- पोरॉसिटीची श्रेणी $0 < n < 100\%$ आहे.

2.1.5 सैचुरेशन [SATURATION] प्रमाण [S] - हे पाण्याच्या आयतन $[V_w]$ चे व्हॉइड्सच्या एकूण आयतन $[V_v]$ सोबतचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते."

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \dots\dots \text{टक्केवारीत व्यक्त केले जाते.}$$

- कोरड्या मातीसाठी $S = 0\%$ आणि पूर्णपणे सैचुरेशन [SATURATION] मातीसाठी $S = 100\%$ असते, तर अंशतः सैचुरेशन [SATURATION] मातीसाठी $0 < S < 100\%$ असते.

2.1.6 डेन्सिटी इंडेक्स [Density Index] [ID] - "हे मातीच्या सर्वात मोकळ्या आणि सर्वात घनिष्ट स्थितीच्या तुलनेत त्याच्या घनतेचे माप म्हणून परिभाषित केले जाते."

- याला सापेक्ष घनता किंवा डेन्सिटी इंडेक्स असेही म्हणतात.
- हे सूक्ष्म कण असलेल्या मातीच्या सर्वात मोकळ्या आणि सर्वात घनिष्ट स्थितीतील पॅकिंगमधील डेन्सिटी इंडेक्स मोजणारे सूचक आहे.

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

- $e_{\max}$ = सर्वात मोकळ्या स्थितीतील व्हॉइड रेशिओ.
- $e_{\min}$ = सर्वात घनिष्ट स्थितीतील व्हॉइड रेशिओ.
- $e_{\max}$ = नैसर्गिक स्थितीतील व्हॉइड रेशिओ.
- हे गट कण असलेल्या मातीचे सर्वात महत्वाचे गुणधर्म आहे.
- गट कण असलेल्या मातीला सापेक्ष घनता सूचकावर आधारित वर्गीकृत केले जाऊ शकते, जे खाली दिले आहे.

तक्ता 2.1 - Density Index

ID[%]	0-15	15-35	35-65	65-85	85-100
Classification	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very dense

2.1.7 मातीची घनता [Density of soil] - " हे मातीच्या वजन $[W]$ चे मातीच्या एकक आयतन $[V]$ सोबतचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते."

$$\gamma = \frac{W}{V} \dots\dots\dots \text{KN/m}^3$$

- W = मातीचे वजन

- V = मातीचे एकूण आयतन
- हे KN/m^3 मध्ये व्यक्त केले जाते.

2.1.8 बल्क डेन्सिटी [मातीची घनता][Bulk Density] γ_t - "हे मातीचे एकूण वजन $[W]$ ते मातीच्या एकूण द्रव्यमानाचे आयतन $[V]$ यांचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते.

$$\gamma_t = \frac{W}{V} \dots\dots\dots$$

हे KN/m^3 मध्ये व्यक्त केले जाते

2.1.9 ड्राय डेन्सिटी [Dry Density] γ_d - " हे मातीच्या एकूण कोरड्या वजनाचे $[W_s]$ मातीच्या एकूण द्रव्यमानाच्या आयतनासोबत $[V]$ यांचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते."

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad \text{KN/m}^3$$

- हे KN/m^3 मध्ये व्यक्त केले जाते.
- कोरड्या एकक वजनाचा उपयोग मातीच्या घनतेचे माप म्हणून केला जातो.
- अधिक कोरड्या एकक वजनाचा अर्थ माती अधिक घन किंवा संकुचित आहे.

2.1.10 घन कणांचे एकक वजन [युनिट वेइट ऑफ सॉईल सॉलिड्स] [Unit weight of soil Solids] γ_s - "हे मातीच्या घन कणांचे वजन $[W_s]$ ते मातीच्या घन कणांचे एकूण आयतन $[V_s]$ यांचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते."

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \dots\dots\dots \text{KN/m}^3$$

- हे KN/m^3 मध्ये व्यक्त केले जाते

2.1.11 सैचुरेशन [SATURATION] एकक वजन [सैचुरेशन युनिट वेइट][Saturated Unit Weight] γ_{sat} - हे मातीच्या एकूण सैचुरेशन [SATURATION] वजनाचे $[W_{sat}]$ मातीच्या एकूण आयतनाशी $[V]$ गुणोत्तर आहे."

$$\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V} \dots\dots\dots \text{KN/m}^3$$

- हे KN/m^3 मध्ये व्यक्त केले जाते.

2.1.12 "जलमग्न एकक वजन" किंवा "तरंगणारे एकक वजन". [Submerged Unit Weight] γ_{sub} - "हे मातीच्या तरंग वजनाचे $[W_{sub}]$ मातीच्या एकूण आयतनाशी $[V]$ गुणोत्तर आहे."

$$\gamma_{sub} = \frac{W_{sub}}{V} \dots\dots\dots \text{KN/m}^3$$

- हे KN/m^3 मध्ये व्यक्त केले जाते.

- जेव्हा माती पाण्याखाली असते, म्हणजेच जलमग्न परिस्थितीमध्ये, मातीच्या घन कणांवर एक तरंग बल कार्य करते, जे मातीच्या घन कणांद्वारे विस्थापित केलेल्या पाण्याच्या वजनाच्या समान असते.

- म्हणून मातीच्या घन कणांचे एकूण वजन कमी होते आणि हे कमी झालेले वजन तरंग वजन किंवा जलमग्न वजन म्हणून ओळखले जाते.

$$\gamma_{\text{sub}} = \gamma' = \frac{W_{\text{sub}}}{V} = \gamma_{\text{sat}} - \gamma$$

$$\gamma' \text{ is roughly } = \frac{1}{2} \times \text{Submerged unit weight}$$

- γ_w = "पाण्याचे एकक वजन".

2.1.13 स्पेसिफिक ग्रेविटी [Specific Gravity] [G] - हे दिलेल्या घन कणांच्या आयतनाच्या वजनाचे 4°C वरील पाण्याच्या समतुल्य आयतनाच्या वजनाशी गुणोत्तर आहे."

$$G = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

- बहुतेक अकार्बनिक मातीचे स्पेसिफिक ग्रेविटी 2.65–2.80 च्या श्रेणीत असते.

- बहुतेक कार्बनिक मातीचे स्पेसिफिक ग्रेविटी 1.20–1.40 च्या श्रेणीत असते.

* पाण्याचे एकक वजन $[\gamma_w]$ - "हे पाण्याचे एकूण वजन $[W_w]$ ते पाण्याचे एकूण आयतन $[V_w]$ यांचे गुणोत्तर आहे."

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

हे KN/m^3 मध्ये व्यक्त केले जाते.

2.2 मातीच्या इन्डेक्स गुणधर्मांचा ठराव: [Index Properties of Soil]

2.2.1 IS कोडानुसार ओव्हन ड्रायिंग पद्धतीने वाटर कन्टेन्टचा ठराव

वाटर कन्टेन्ट ठरवण्यासाठी पद्धती. [As per IS code for determination of Water Content]

1. ओव्हन ड्रायिंग पद्धत.
2. पायक्नोमीटर पद्धत.
3. कॅल्शियम कार्बाइड पद्धत / रॅपिड मोइस्चर मीटर पद्धत.
4. सॅंड बाथ पद्धत.
5. अल्कोहोल पद्धत.
6. टॉर्शन बॅलन्स पद्धत.

7. रेडिएशन पद्धत.

ओव्हन ड्रायिंग पद्धत –[Oven Drying Method]

- ही सर्वात साधी आणि अचूक पद्धत आहे.
- अकार्बनिक मातीसाठी तापमान 105-110°C दरम्यान नियंत्रित केले जाते.
- जर तापमान नियंत्रित नसेल आणि 110°C पेक्षा जास्त असेल, तर संरचनात्मक पाण्याचा गमावण्याचा धोका असतो.

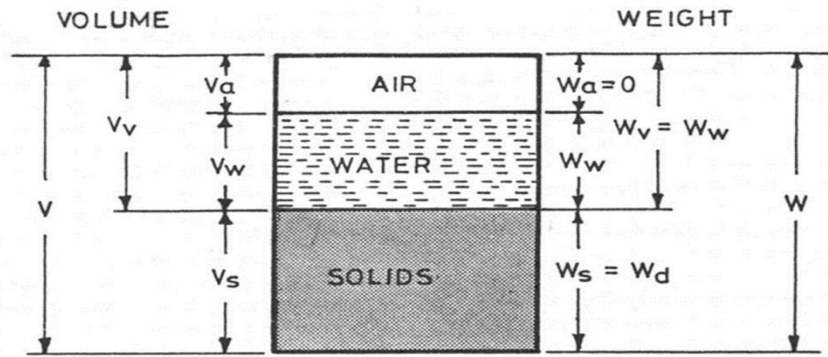


Figure 2.4 तीन टप्प्यांचे रेखाचित्र [Three Phase Diagram]
(स्रोत: MSBTE GTE 314315 प्रयोगशाळा मॅन्युअल)

कार्यपद्धती:

1. रिकाम्या कंटेनरचे वजन मोजा आणि ते 'W1' ग्रॅम म्हणून नोंदवा.
 2. IS शिफारशी नुसार आर्द्र मातीचे नमुने गोळा करा आणि ते कंटेनरमध्ये ठेवा.
 3. आर्द्र मातीने भरलेल्या कंटेनरचे वजन मोजा आणि ते 'W2' ग्रॅम म्हणून नोंदवा.
 4. भरलेला कंटेनर थर्मोस्टॅटिकली नियंत्रित ओव्हनमध्ये 105⁰ - 110⁰°C तापमानावर 24 तासांसाठी ठेवा, जेणेकरून वाटर पूर्णपणे वाफ होईल.
 5. ओव्हनमधून कंटेनर बाहेर काढा आणि 5 मिनिटांसाठी डेसिकेटर्समध्ये थंड करा.
 6. कोरड्या मातीसह कंटेनरचे वजन मोजा आणि ते 'W3' ग्रॅम म्हणून नोंदवा.
 7. % वाटर कन्टेन्ट काढा: $\% w = (W2 - W3) / (W3 - W1) \times 100$.
 8. दिलेल्या मातीच्या नमुन्याची सरासरी वाटर कन्टेन्ट काढण्यासाठी वरील सर्व पद्धती दोन वेळा पुनः करा.
- W1 - रिकाम्या कंटेनरचे वजन.
 - W2 - कंटेनर + आर्द्र मातीचे वजन.
 - W3 - कंटेनर + कोरड्या मातीचे वजन.
 - W_w ["पाण्याचे वजन"] = W2 - W3

$$W_s[\text{"मातीच्या घन कणांचे वजन"} = W_3 - W_1$$

$$W = \frac{W_w}{W_s}$$

$$\text{वाटर कन्टेन्ट} = W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_2} \times 100 \%$$

2.2.2 कोर कटर पद्धतीने एकूण एकक वजन आणि कोरड्या एकक वजनाचा ठराव.

इन-सीटू एकक वजनाचा ठराव.

1] कोर कटर पद्धत. [Core Cutter Method]

- ही पद्धत संयुगे मातीच्या बाबतीत वापरली जाते.
- ही पद्धत कठीण आणि खडी मातीच्या बाबतीत वापरली जाऊ शकत नाही.
- कोर कटर हा एक बेलनाकार पात्र असतो, ज्याच्या वरच्या आणि खालील बाजूला उघडी असतात आणि तीव्र काठ असतो, साधारणपणे 10 सें.मी व्यास आणि 12.5 सें.मी उंची असतो आणि त्याचे आयतन सुमारे 1000cc असते

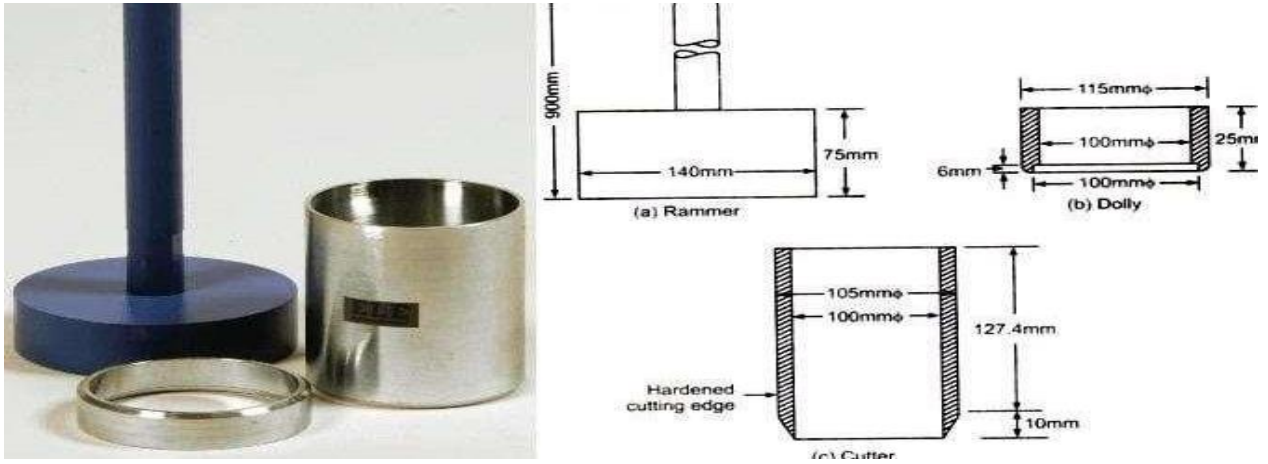


Figure 2.5 कोर कटर डॉली आणि हॅमरसह [Core Cutter with Dolly and Hammer]

(स्रोत: MSBTE GTE 314315 प्रयोगशाळा मॅन्युअल)

कार्यपद्धती:

1. कोर कटराची उंची (h) आणि अंतर्गत व्यास (d) मोजा आणि कोर कटरच्या आत ग्रीस लावा, जेणेकरून त्याचे आयतन cc मध्ये मोजता येईल.
2. रिकाम्या कोर कटरचे वजन डॉलीशिवाय मोजा आणि ते (W₁) ग्रॅम म्हणून नोंदवा.
3. ज्या ठिकाणी घनता मोजायची आहे तेथे जागा स्वच्छ करा आणि समतल करा.

4. कोर कटर, त्याच्या वर Steel डॉलीसह, स्टील रॅमरसह मातीमध्ये त्याच्या पूर्ण खोलीपर्यंत ठोसा आणि असे करा की डॉलीचा अर्धा भाग जमिनीवर राहील.
5. कटरभोवती माती खोदून क्रो बार/पिक-एक्स वापरून मातीला हलक्या हाताने कटरसह उचलून मातीला disturb न करता त्यातल्या मातीसह कटर उचलावे.
6. नमुन्याच्या वरचा आणि खालचा भाग नीट समतल करा आणि कटरची बाह्य पृष्ठभाग स्वच्छ करा.
7. मातीने भरलेला कोर कटर मोजा आणि ते (W2) ग्रॅम म्हणून नोंदवा.
8. फिल्ड मातीचे एकूण घनता (Bulk Density) काढण्यासाठी पुढील सूत्र वापरा: $\gamma = (W2 - W1) / V$ in gm/cc.
9. कोर कटरमधून माती काढा, सॅम्पल एक्सट्रॅक्टर वापरून आणि त्यातून एक प्रतिनिधिक मातीचे नमुना घ्या, जेणेकरून कोणत्याही एका पद्धतीने वाटर कन्टेन्ट (w%) ठरवता येईल.
10. फिल्ड मातीची ड्राय डेन्सिटी (Dry Density) काढण्यासाठी खालील सूत्र वापरा: $\gamma_d = (100 \times \gamma) / (100 + w)$ in gm/cc.
11. वरील सर्व पद्धती दोन अधिक ठिकाणी क्षेत्रात पुनरावृत्त करा जेणेकरून मातीच्या सरासरी कोरडी घनतेचा ठराव केला जाऊ शकेल.

संज्ञा:

रिकाम्या कोर कटरचे वजन = W1

कोर कटर + मातीचे वजन = W2

"मातीचे वजन". = $W = W2 - W1$

"मातीचे आयतन" = $V = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h$

d = कोर कटराचा व्यास.

h = कोर कटराची उंची.

डेन्सिटी एकूण एकक $\gamma = \frac{W2 - W1}{V} = \frac{W}{V}$

वजन" =

ड्राय डेन्सिटी. = $\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$

2.2.3 सँड रिप्लेसमेंट पद्धतीने एकूण एकक वजन आणि कोरड्या एकक वजनाचा ठराव

2] सँड रिप्लेसमेंट पद्धत [Sand Replacement Method]. - ही पद्धत कठीण आणि खडी मातीच्या बाबतीत वापरली जाते, जिथे कोर कटर पद्धत वापरली जाऊ शकत नाही.

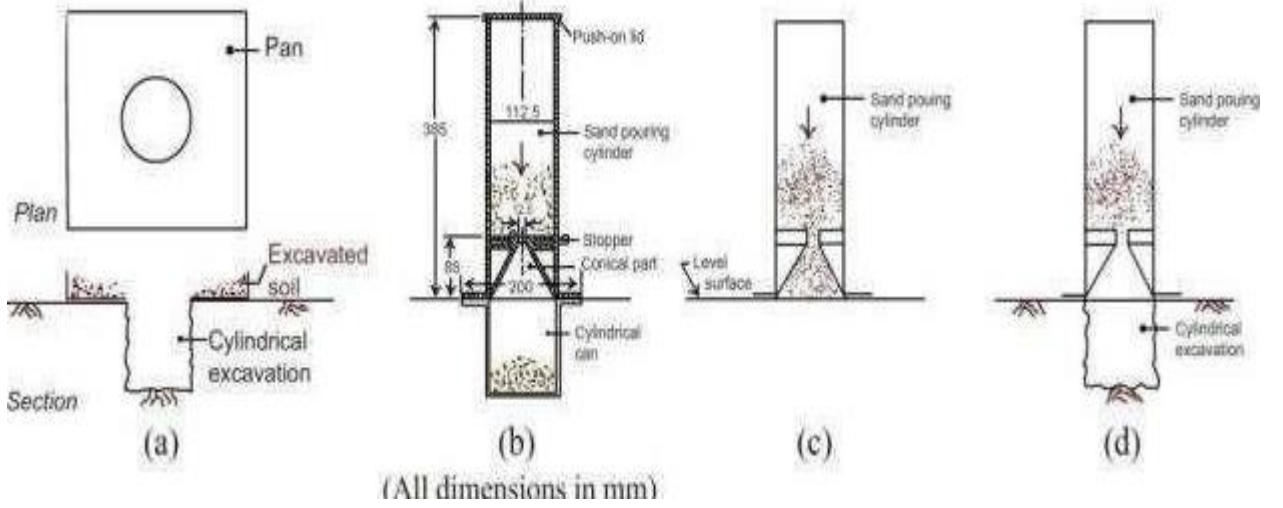


Figure 2.6 ट्रे आणि कॅलिब्रेटिंग कंटेनर असलेला धातूचा सिलेंडर. [Metal cylinder with tray and Calibrating container]

(स्रोत: MSBTE GTE 314315 प्रयोगशाळा मॅन्युअल)

कार्यपद्धती:

यंत्राची कॅलिब्रेशन:

1. सॅंड पौरिंग सायलंडरचे झाकण काढा, शटर बंद करा, 1 मिमी पास होणारी आणि 600 मायक्रॉनवर अडवलेली चेंडू माती टाका आणि झाकण पुनः लावा.
2. सॅंड पौरिंग सायलंडरचे मातीसह वजन मोजा आणि ते 1.0 ग्रॅमच्या जवळ असलेले (W1) म्हणून नोंदवा.
3. सॅंड पौरिंग सायलंडर कॅलिब्रेशन कंटेनरवर ठेवा, शटर उघडा आणि माती कॅलिब्रेशन कंटेनर भरून बाहेर पडू द्या. शटर बंद करा.
4. सॅंड पौरिंग सायलंडर आता स्वच्छ आणि समतल पृष्ठभागावर ठेवा. शटर उघडा आणि माती पूर्णपणे भरून बाहेर पडू द्या. शटर बंद करा; सॅंड पौरिंग सायलंडर काढा.



Figure 2.7 क्षेत्रातील घनता मोजणी (सॅंड रिप्लेसमेंट पद्धत) [Measurement of field density (Sand Replacement Method)]

(स्रोत: MSBTE GTE 314315 प्रयोगशाळा मॅन्युअल)

- शंभर टाकलेल्या मातीला एकत्र करा आणि त्याचे वजन 1.0 ग्रॅमच्या जवळ (W2) म्हणून नोंदवा.
5. सॅंड पौरिंग सायलंडर पुन्हा मातीने भरून त्याचे वजन सुरुवातीच्या वजनासारखे W1 असेल.
 6. सॅंड पौरिंग सायलंडर कॅलिब्रेशन कंटेनरच्या मध्यभागी ठेवा. शटर उघडा आणि माती कॅलिब्रेशन कंटेनर आणि शंभर पूर्णपणे भरण्यासाठी मातीला बाहेर पडू द्या. शटर बंद करा आणि शेष मातीसह सायलंडरचे वजन W3 म्हणून मोजा.
 7. वरील सर्व पद्धती दोन अधिक वेळा पुनरावृत्त करा आणि (W2) आणि (W3) चे सरासरी मूल्य ठरवा.
 8. कॅलिब्रेशन कंटेनरचे आयतन V1 मोजा, किंवा अंतर्गत माप मोजून किंवा वाटर भरून आणि वजन करून.

मातीच्या घनतेचे माप क्षेत्रात:

9. सॅंड पौरिंग सायलंडर पुन्हा मातीने भरून त्याचे वजन प्रारंभिक वजन W1 समान करा.
10. सॅंड पौरिंग सायलंडर मातीने भरलेला, धातूचा ट्रे ज्यामध्ये मध्यभागी छिद्र आहे, आणि ट्रॉवेल घेऊन त्या ठिकाणी जा जिथे फिल्ड घनता मोजायची आहे.
11. जमिनीत सुमारे 45cm x 45cm क्षेत्र उघडा आणि समतल करा, जिथे फिल्ड घनता मोजायची आहे.
12. मध्यभागी छिद्र असलेला धातूचा ट्रे तयार केलेल्या जमिनीवर ठेवा, मध्य छिद्राचा वापर करून, ट्रॉवेलने माती खोदून सुमारे 150 मिमी (अंदाजे) खोलीपर्यंत खोदून घ्या. दिल्या मातीला काळजीपूर्वक काढा आणि धातूच्या कंटेनरमध्ये गोळा करा (नंतर प्रयोगशाळेत गोळा केलेल्या मातीचे वजन 1.0 ग्रॅमच्या जवळ (W) मोजा).
13. मध्य छिद्र असलेला धातूचा ट्रे काढा, सॅंड पौरिंग सायलंडर जो मातीने भरलेला आहे, त्याला खोदलेल्या छिद्रावर मध्यभागी ठेवा. शटर उघडा आणि माती खोदलेल्या छिद्रात आणि शंभरमध्ये पूर्णपणे भरण्यासाठी मातीला बाहेर पडू द्या. शटर बंद करा आणि शेष मातीसह सायलंडरचे वजन (W4) म्हणून मोजा.
14. गोळा केलेल्या मातीची वाटर कन्टेन्ट ओव्हन ड्रायिंग पद्धतीने मोजा, म्हणजे w%.
15. वरील पायरी क्र. 12, 13 आणि 14 दोन अधिक वेळा पुनरावृत्त करा आणि फिल्ड मातीच्या सरासरी कोरडी घनतेचे मूल्य मिळवा.

2.2.4 पायक्नोमीटरद्वारे विशिष्ट गुरुत्वाकर्षणाचा ठराव [Determination of Specific gravity

by Pycnometer]

कार्यपद्धती:

1. पायक्नोमीटर बाटली स्वच्छ करा आणि ती कोरडी करा. रिकाम्या पायक्नोमीटरचे वजन, शंकू आकाराच्या झाकणासह 'W1' ग्रॅम म्हणून मोजा.
2. दिलेल्या मातीचा नमुना जो 4.75 मिमी पास होतो आणि 75 मायक्रॉन IS सिव्हर राहतो, तो ओव्हनमध्ये 105-110°C तापमानावर 24 तास ओव्हन ड्राय करा, जेणेकरून माती कोरडी होईल.
3. या मातीच्या नमुन्याचे सुमारे 150-200 ग्रॅम पायक्नोमीटरमध्ये टाका आणि त्याचे वजन 'W2' ग्रॅम म्हणून मोजा.
4. आता पायक्नोमीटरच्या अर्ध्या उंचीपर्यंत डिस्टिल्ड वाटर घाला आणि काचेच्या रॉडने हलवा, जेणेकरून मातीतील अडकलेली हवा बाहेर पडेल.

5. शंकू आकाराच्या झाकणाच्या शिखरापर्यंत डिस्टिल्ड वाटर पाइपेटने भरून टाका.
6. डिस्टिल्ड पाण्याने भरलेली पायक्नोमीटर बाटलीचे वजन 'W3' ग्रॅम म्हणून मोजा.
7. पायक्नोमीटर बाटलीमधून सर्व कन्टेन्ट काढा. ती वाटरने धुऊन स्वच्छ करा.
8. पायक्नोमीटर बाटली फक्त डिस्टिल्ड पाण्याने शंकू आकाराच्या झाकणाच्या शिखरापर्यंत भरा.
9. पायक्नोमीटर ज्याचं वाटर पूर्णपणे भरलेलं आहे, त्याचा वजन W4 ग्रॅम घेतलं जातं.
10. विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण G ची गणना पुढील सूत्रानुसार करा:

$$G = (W2 - W1) / [(W4 - W1) - (W3 - W2)]$$
11. वरील सर्व चरण दोन वेळा पुनरावृत्ती करा आणि दिलेल्या मातीच्या नमुन्याचं सरासरी विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण मोजा.

Specific Gravity using Pycnometer

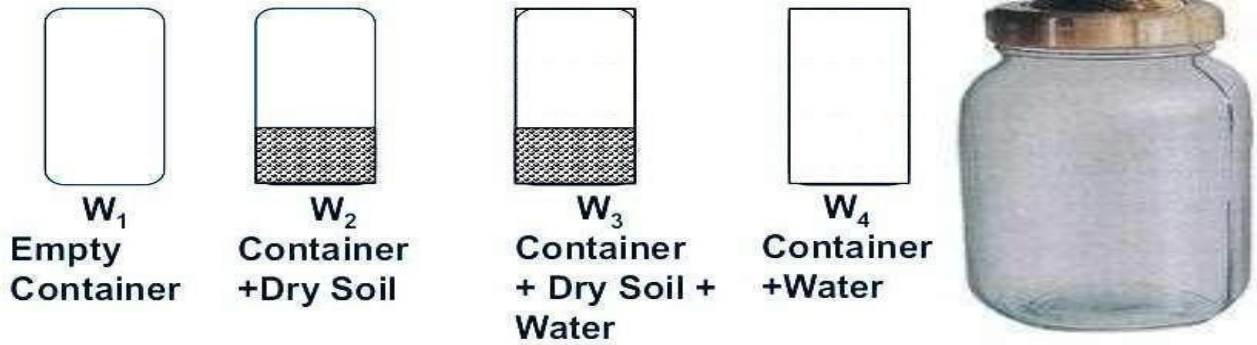


Figure 2.8 पायक्नोमीटर पद्धत [Pycnometer Method]

(स्रोत: MSBTE प्रयोगशाळा मार्गदर्शिका भू-तांत्रिक अभियांत्रिकी 314315)

2.3.1 कण आकार वितरण [Particle size Distribution Curve]

1. कण आकार वितरणाद्वारे, आपण प्रत्येक आकार श्रेणीत मातीचे प्रमाण मोजू शकतो. मातीच्या नमुन्यांना वेगवेगळ्या अंशांमध्ये किंवा आंतरावधीत विभाजित केले जाऊ शकते, जिथे प्रत्येक अंश कण आकाराच्या एका विशिष्ट श्रेणीचे प्रतिनिधित्व करतो.
2. कण आकार वितरणाचे विश्लेषण केल्यानंतर, परिणाम सामान्यतः चार्टवर काढले जातात, जिथे परंपरेने ऊर्ध्वाधर अक्षावर एक विशिष्ट आकारापेक्षा छोट्या कणांचे सापेक्ष प्रतिशत (वजनाने) दर्शविले जाते, आणि आडव्या अक्षावर कण आकार लॉग स्केलवर दर्शविला जातो.
3. कण आकार वितरण मातीच्या प्रतिक्रिया प्रकारावर मोठा प्रभाव टाकू शकतो, जेव्हा ते विविध अनुप्रयोगांमध्ये वापरले जातात. मातीमध्ये खनिज कण असतात, आणि या कणांचे आकार आणि त्यांची मांडणी मातीच्या गुणधर्मावर मोठा प्रभाव टाकतात. एका मातीच्या नमुन्यातील कणांचा आकार खूप रुंद (>100 मिमी) पासून ते खूप सूक्ष्म (<2 मायक्रॉन) पर्यंत असू शकतो.
4. मोठ्या आकाराचे कण असलेली माती जास्त मजबूत असते, कारण त्यात कणांमधील घर्षण जास्त असते, तर सूक्ष्म माती अधिक पाण्याच्या प्रमाणावर संवेदनशील असते. जर आपल्याला मातीच्या कण आकार वितरणाचा माहिती असेल, तर आपण त्याच्या ताकदीची आणि गुणधर्माची अंदाज

घेऊ शकतो, ज्यामुळे भू-तांत्रिक अभियंते त्यांच्या वापरावर अधिक माहितीपूर्ण निर्णय घेऊ शकतात.

5. कण आकार वितरण कर्व (PSDC): हे कण आकाराच्या आधारावर मातीच्या नमुन्याचे विश्लेषण करण्यासाठी काढलेले कर्व असते. हे सिव्ह आकार किंवा कण आकार व त्याचे क्यूमुलटिव्ह % फाइनर कणांचे एकत्रित रूप दर्शवते.

[स्रोत: <https://www.tensarinternational.com/resources/articles/what-is-particle-size-distribution-in-soils>]

2.3.2 यांत्रिक सिव्ह विश्लेषण IS कोडानुसार – [Mechanical sieve analysis as per IS code]

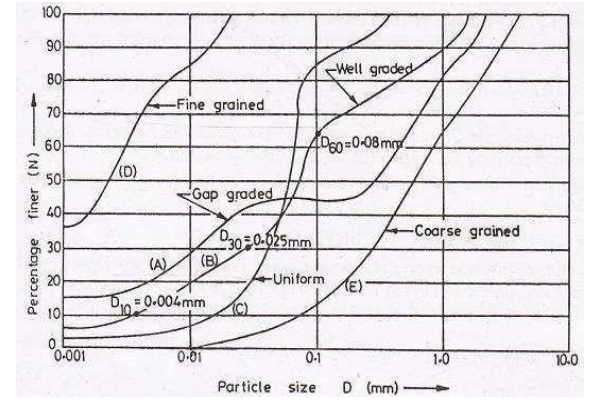
दिलेले मातीचे कण आकार वितरण यांत्रिक सिव्ह विश्लेषणाने IS 2720 (भाग- IV) नुसार ठरवा. पद्धत:

1. सुरुवातीला दिलेल्या मातीच्या नमुन्याला 2-3 तासांसाठी जलवाष्प मीटरमध्ये ठेवा जेणेकरून ते ओव्हनमध्ये वाळवलेली माती मिळेल. मातीमध्ये दिसणाऱ्या गाठी फेकून देण्यासाठी अंगठ्याच्या हलक्या दाबाने तोडून टाका.
2. IS सिव्हचा सेट उतरत्या क्रमाने व्यवस्थित करा, जिथे जाड सिव्ह वर आणि बारीक सिव्ह खाली ठेवावेत. म्हणजेच, जाड सिव्ह वर आणि बारीक सिव्ह खाली. IS सिव्ह सेटमध्ये 4.75 मिमी, 2.36 मिमी, 1.18 मिमी, 600 μ , 300 μ , 150 μ , 75 μ आकाराच्या सिव्ह समाविष्ट असाव्यात.
3. मातीचा नमुना अंदाजे 500-1000 ग्रॅम घेऊन त्याला सर्वात वरच्या सिव्हवर ठेवा.
4. IS सिव्ह सेटच्या वर आणि खाली तळ आणि झाकण ठेवावे.
5. या सर्व्हे सेटला यांत्रिक सिव्ह शेकवर ठेवा आणि सिव्हिंग करा. शेकिंग किमान 10-15 मिनिटे सुरु ठेवा, जशी शिफारस केली आहे.
6. प्रत्येक सिव्हवरून माती काढून स्टील ब्रश वापरून ते वेगवेगळ्या सिव्हवरून काढा. प्रत्येक सिव्हवर ठेवलेल्या मातीचा वजन मोजा. त्याची नोंद निरीक्षण तक्त्यात करा.
7. टेबल स्वरूपात क्यूमुलटिव्ह टक्केवारी फाइनरची गणना करा.
8. पार्टिकल साइज डिस्ट्रिब्युशन कर्व (PSDC) काढा आणि सेमी लॉगॅरिदमिक ग्राफवर त्याचे FIGURE करा, जिथे कण आकार (लॉग स्केल) x-अक्षावर आणि क्यूमुलटिव्ह टक्केवारी फाइनर (नॅचरल स्केल) y-अक्षावर आहे.
9. PSDC च्या स्वरूपावरून, दिलेल्या मातीला वरील उल्लेखित श्रेण्यांमध्ये वर्गीकृत करा.



मातीच्या नमुन्याचे मोजमाप आणि भरणे

यांत्रिक चाळणी शेकर



चाळणीनंतर मातीच्या अंशाचे मोजमाप

कणांचा आकार वितरण आलेख (PSDC)

Figure 2.9 कणांचा आकार वितरण पद्धत [Particle size distribution Method]

(स्रोत: MSBTE प्रयोगशाळा मार्गदर्शिका भू-तांत्रिक अभियांत्रिकी 314315)

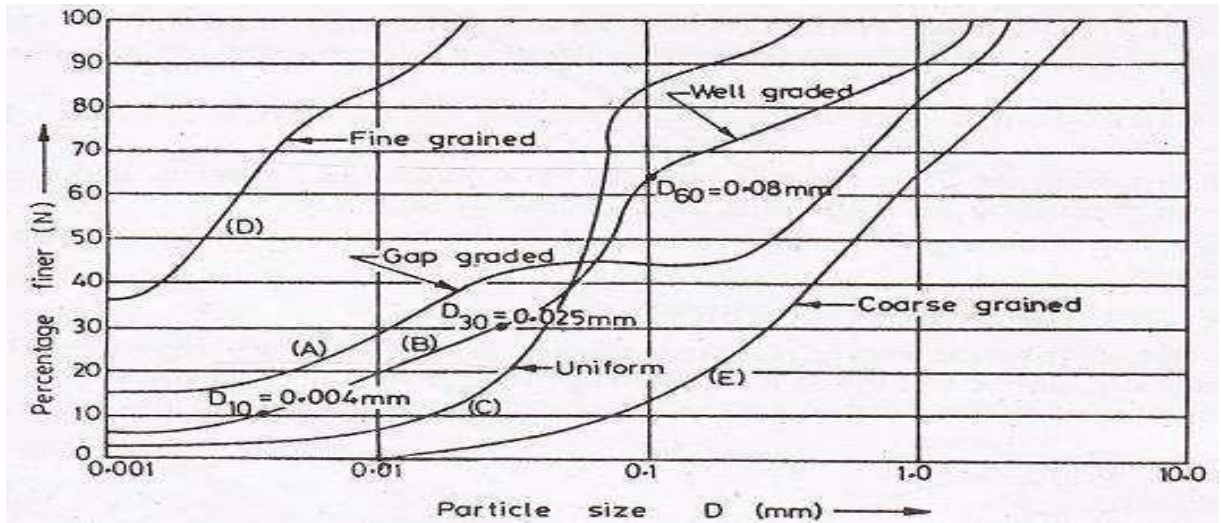


Figure 2.10 कणांचा आकार वितरण कर्व [Particle size distributions curve]

(स्रोत: MSBTE प्रयोगशाळा मार्गदर्शिका भू-तांत्रिक अभियांत्रिकी 314315)

2.3.3 कण आकार वितरण कर्व (Particle Size Distribution Curve)

1. कण आकार वितरणाचे विश्लेषण करताना एक कर्व आलेला ग्राफ मिळतो, ज्याला कण आकार वितरण कर्व (Particle Size Distribution Curve) किंवा कधी कधी ग्रेडिंग कर्व (Grading Curve) असे म्हणतात. हे कर्व कण आकाराच्या पूर्ण श्रेणीला दर्शवते, लहानतम कण आकारापासून ते सर्वात मोठ्या कण आकारापर्यंत.
2. जर माती केवळ समान आकाराचे कण असलेली असेल, तर तिचा ग्रेडिंग कर्व एक उभ्या रेषेसारखा असेल, जो योग्य कण आकारावर स्थित असेल. बहुतेक माती विविध कण आकारांच्या

श्रेणींनी बनलेली असते आणि कण आकार वितरण कर्व डावीकडून उजवीकडे वळण घेत असतो, ज्यामुळे कण आकार वितरण दिसून येते.

3. कण आकार वितरण कर्व (PSDC): हे कण आकाराच्या आधारित मातीच्या नमुन्याचे विश्लेषण करण्यासाठी काढलेले कर्व आहे. यामध्ये सिव्ह आकार किंवा कण आकार आणि क्यूम्युलटिव्ह % फाइनर कणांचे प्रमाण दर्शविले जाते.
4. % फाइनर आणि सिव्ह आकार यांच्यातील एक ग्राफ सेमी-लॉग पेपरवर काढला जातो. सिव्ह आकार (कण व्यास) X-अक्षावर लॉग स्केलवर आणि % फाइनर Y-अक्षावर अंकगणितीय स्केलवर घेतला जातो.
5. कण वितरण वक्रापासून कण आकाराच्या आकाराची गणना केली जाते, ज्यात 60% फाइनर, 30% फाइनर आणि 10% फाइनर यांची गणना केली जाते. त्यांना अनुक्रमे D60, D30 आणि D10 म्हणून दर्शविले जाते.
6.
 - D60 म्हणजे तो आकार ज्याच्या खाली 60% कण वजनाने त्यापेक्षा छोट्या असतात.
 - D30 म्हणजे तो आकार ज्याच्या खाली 30% कण वजनाने त्यापेक्षा छोट्या असतात.
 - D10 म्हणजे तो आकार ज्याच्या खाली 10% कण वजनाने त्यापेक्षा छोट्या असतात.
 - D50 हा सरासरी आकार म्हणून ओळखला जातो.

[स्रोत: <https://www.tensarinternational.com/resources/articles/what-is-particle-size-distribution-in-soils>] and [MADE EASY notes]

कण आकार विश्लेषणाचे उपयोग –

1. मातीची उपयुक्तता निश्चित करणे.
2. आवश्यकता नुसार योग्य उपाय किंवा पद्धती ठरविणे.
3. मातीचे गुणधर्म निश्चित करणे.
4. मातीच्या वर्तनाचे निर्धारण करण्यात देखील हे सहाय्य करते.

2.3.4 मातीचा प्रभावी व्यास (Effective Diameter of Soil) –

"आकार D10 ला मातीचा प्रभावी आकार किंवा प्रभावी व्यास म्हणतात. हा एक आकार mm मध्ये असतो ज्यात 10% कण त्या आकारापेक्षा छोटे असतात."

- D10 म्हणजे तो आकार ज्याच्या खाली 10% कण वजनाने त्यापेक्षा छोट्या असतात.

2.3.5.1 युनिफॉर्मिटी को-इफिशिएन्ट (Coefficient of Uniformity - Cu):

हा कण आकारांची श्रेणी किती पसरणारी आहे हे दर्शवणारा निर्देशक आहे आणि तो D60 आणि D10 कण आकारांच्या प्रमाणाने परिभाषित केला जातो. गणिताने,

$$Cu = (D60 / D10).$$

2.3.5.2 कर्वेचर को-इफिशिएन्ट (Coefficient of Curvature - Cc):

हा D60 आणि D10 कण आकारांदरम्यानच्या कर्वेच्या आकाराचे माप आहे आणि तो D30 च्या वर्गाचे

आणि D10 आणि D60 यांच्या गुणाकाराचे प्रमाण म्हणून परिभाषित केला जातो.
गणिताने,

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}).$$

- $C_c = 1$ to 3 सुसंगत मातीसाठी.
- $C_u \geq 6$ रेतीसाठी
- $C_u > 4$ गिट्टीसाठी.

युनिफाइड सॉयल क्लासिफिकेशन सिस्टिम (Unified Soil Classification System – USCS) नुसार मातीचे ग्रेडिंग निकष

1. गिट्टीला "सुसंगत" (Well Graded) म्हणून वर्गीकृत करण्यासाठी खालील निकष पूर्ण केले पाहिजेत::

$$C_u > 4 \text{ \& } 1 < C_c < 3.$$

2. जर वरील दोन्ही निकष पूर्ण न केले, तर गिट्टीला "असुसंगत" (Poorly Graded - GP) म्हणून वर्गीकृत केले जाते.

जर वरील दोन्ही निकष पूर्ण केले, तर गिट्टीला "सुसंगत" (Well Graded - GW) म्हणून वर्गीकृत केले जाते.

3. सॅडला "सुसंगत" (Well Graded) म्हणून वर्गीकृत करण्यासाठी खालील निकष पूर्ण केले पाहिजेत:

$$C_u \geq 6 \text{ \& } 1 < C_c < 3.$$

4. जर वरील दोन्ही निकष पूर्ण न केले, तर सॅडला "असुसंगत" (Poorly Graded - SP) म्हणून वर्गीकृत केले जाते.

जर वरील दोन्ही निकष पूर्ण केले, तर सॅडला "सुसंगत" (Well Graded - SW) म्हणून वर्गीकृत केले जाते.

[स्रोत – MSBTE प्रयोगशाळा मार्गदर्शिका भू-तांत्रिक अभियांत्रिकी 314315]]

2.3.6 सुसंगत आणि समरूप माती – [Well graded and uniformly graded soils]

ग्राफच्या स्वरूपावरून, चाचणी केलेली माती खालीलप्रमाणे वर्गीकृत केली जाते:

1. **सुसंगत माती (Well Graded Soil):**

जे मातीमध्ये सर्व आकाराच्या कणांचा समावेश असतो, म्हणजेच लहान कणांपासून मोठ्या कणांपर्यंत. या मातीचा ग्राफ S-आकाराचा असतो.

2. **असुसंगत माती (Poorly Graded Soil):**

जे मातीमध्ये विशिष्ट आकाराच्या कणांची मोठी प्रमाणात उपस्थिती असते आणि इतर आकारांचा तुटवडा असतो. या मातीचा ग्राफ लहरी किंवा लाटेसारखा असतो.

3. **समरूप माती (Uniformly Graded Soil):**

जे मातीमध्ये समान किंवा समांतर आकाराचे कण असतात. यामध्ये ग्राफ Y-आक्ष शी समांतर असलेल्या जवळजवळ लांबट रेषेसारखा दिसतो.

4. **सूक्ष्म कण असलेली माती (Fine Grained Soil):**

जे मातीमध्ये जास्त प्रमाणात सूक्ष्म कणांचा समावेश असतो. या मातीचा PSDC वर रेषा X-आक्ष ला छेदत असते.

5. **ठोस कण असलेली माती (Coarse Grained Soil):**

जे मातीमध्ये जास्त प्रमाणात ठोस कणांचा समावेश असतो. या मातीचा PSDC वर रेषा Y-आक्ष ला छेदत असते.

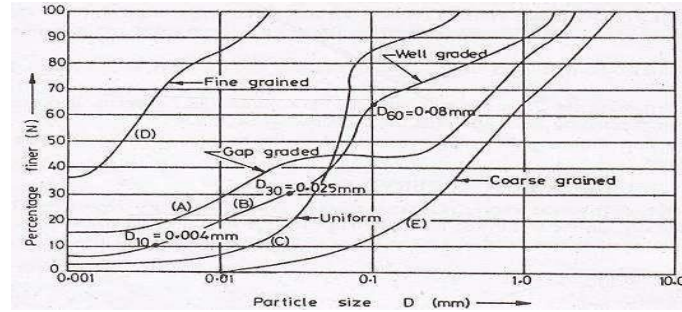


Figure 2.11 कणांचा आकार वितरण [Particle size distributions]
(स्रोत: MSBTE प्रयोगशाळा मार्गदर्शिका भू-तांत्रिक अभियांत्रिकी 314315)

2.3.7 मातीचे कण आकार वर्गीकरण – [Particle size classification of soil]

- कोर्स ग्रॅन मातीचे कण आकार विश्लेषण : कोर्स ग्रॅन मातीचे कण आकार विश्लेषण सिव्ह विश्लेषण (Sieve Analysis) द्वारे केले जाते, तर सूक्ष्म कण असलेल्या मातीचे विश्लेषण सिडिमेंटेशन पद्धतीने केले जाते, म्हणजेच हायड्रॉमीटर किंवा पिपेट पद्धतीने.
- सामान्यतः बहुतेक मातीमध्ये कोर्स तसेच सूक्ष्म कणांचा मिश्रण असतो. त्यामुळे एकत्रित विश्लेषण (Combined Analysis) प्रायः केले जाते.
- एकत्रित विश्लेषण मध्ये, 4.75 मिमी सिव्हवर राखलेली सुक्या मातीला ग्रेवेल (Gravel) म्हणतात. या मातीचे कोर्स सिव्ह विश्लेषण केले जाते. आणि 4.75 मिमी सिव्हवरून जाणारी माती पुढे सूक्ष्म सिव्ह विश्लेषण केली जाते.
- 0.075 मिमी सिव्हवरून जाणारी माती हायड्रॉमीटर किंवा पिपेट पद्धतीने विश्लेषित केली जाते.
- माती वर्गीकरणासाठी वापरलेली विविध संज्ञा:
 - बोल्डर्स (Boulders):** 300 मिमी पेक्षा जास्त
 - पेबल्स (Pebbles):** 80 मिमी ते 300 मिमी
 - ग्रेवेल (Gravel):** 4.75 मिमी ते 80 मिमी
 - सॅंड (Sand):** 75 μ ते 4.75 मिमी
 - सिल्ट (Silt):** 2 μ ते 75 μ
 - क्ले (Clay):** 2 μ पेक्षा कमी

2.3.8 भारतीय स्टँडर्ड कण वर्गीकरण (I.S. Classification of Soil)

भारतीय मानक माती वर्गीकरण प्रणाली (Indian Standard Soil Classification System - ISSCS) मातीचा वर्गीकरण कण आकार आणि मातीच्या ग्रेडिंग किंवा प्लास्टिसिटीच्या आधारावर करते. यामध्ये एक पूर्वसर्ग (prefix) कण आकार दर्शवितो आणि एक प्रत्यय (suffix) मातीच्या ग्रेडिंग किंवा प्लास्टिसिटीला सूचित करतो.

I.S. माती वर्गीकरण प्रणालीमध्ये वापरलेले मुख्य प्रकार:

तक्ता 2.2 - I.S. मातीचे वर्गीकरण.

Sr.No.	मातीचे प्रकार [Types of Soil]	कण आकार [Particle Size]	टिप्पण्या [Remarks]
1.	बोल्डर्स [Boulders]	>300mm	माती म्हणून विचारले जात नाही [Not considered as soil.]
2.	कॉब्ल्स [Cobbles]	80mm–300mm	
3.	ग्रेवेल [Gravel]	4.75mm–80mm	कोर्स ग्रॅनड माती [Coarse Grained Soil]
4.	सॅंड [Sand]	0.075mm–4.75mm	
	1] कोर्स सॅंड [Coarse Sand]	2mm – 4.75mm	
	2] मीडियम सॅंड [Medium Sand]	0.425mm–2mm	
	3] फायन सॅंड [Fine Sand]	0.075mm–0.425mm	फाइन ग्रॅनड माती [Fine Grained Soil]
5.	सिल्ट [Silt]	0.002mm–0.075mm	
	1] कोर्स सिल्ट [Coarse Silt]	0.02mm–0.075mm	
	2] मीडियम सिल्ट [Medium Silt]	0.01mm –0.002mm	
	3] फायन सिल्ट [Fine Silt]	0.002mm–0.01mm	
6.	क्ले [Clay]	<0.002mm	

G=Gravel [ग्रेवेल]

M =Silt [सिल्ट]

O=Organic Silt [सॅद्रिय सिल्ट] W=Well Graded [सुसंगत]

P = Poorly Graded [असुसंगत]

I=Medium Compressibility [मध्यम
श्रीकेजशीलता] L = Low

Compressibility [कमी श्रीकेजशीलता]

H = High Compressibility [उच्च
श्रीकेजशीलता]

S =Sand [सॅड]

C =Clay [क्ले]

मातीचे गट वर्गीकरण

वर्गीकरण	मातीचे गट वर्गीकरण
GW-	सुसंगत ग्रेवेल
SW-	सुसंगत सॅड
SP-	असुसंगत सॅड

2.4.1 मातीची स्थिरता [Consistency of soil]

2.4.1.1 मातीची स्थिरतेची टप्पे [Stages of consistency]

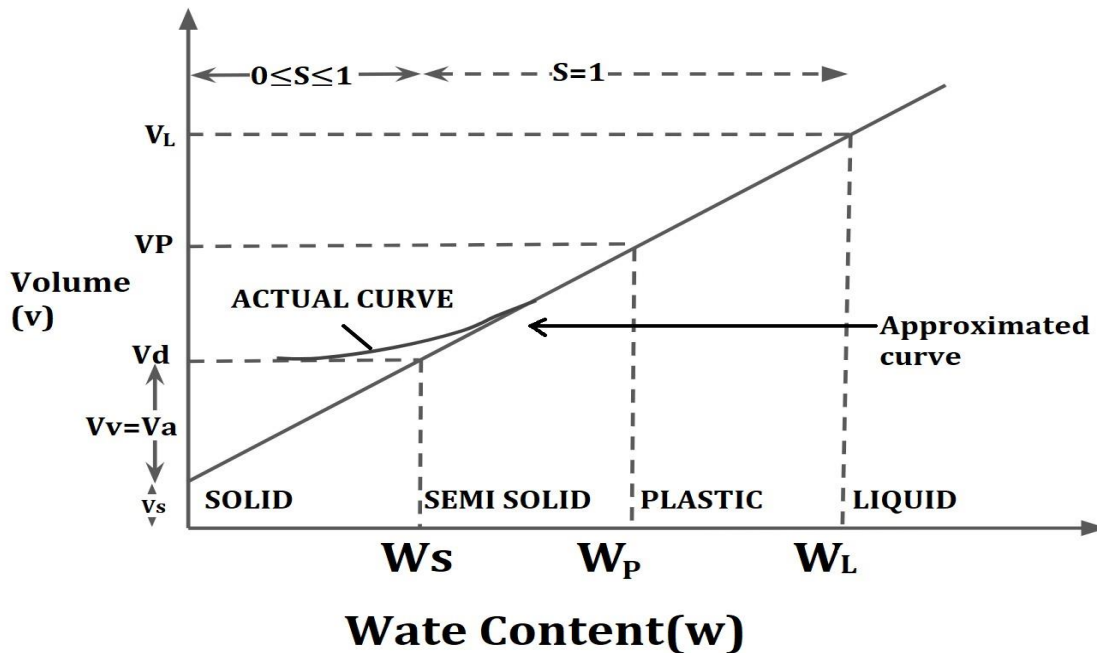


Figure 2.12 सुसंगततेची सीमा [Consistency Limits]

(स्रोत: <https://www.elementaryengineeringlibrary.com/civil-engineering/soil->

mechanics/consistency-of-soil-and-atterberg-limits)

WS= श्रीकेज लिमिट [Shrinkage Limit].

WP= प्लास्टिक लिमिट [Plastic Limit].

WL= लिक्विड लिमिट [Liquid Limit].

1. मातीची स्थिरतेची चार टप्पे म्हणजे सॉलिड, सेमी-सॉलिड, प्लास्टिक आणि लिक्विड. मातीची स्थिरता तिच्या वाटर धारण क्षमतेवर आधारित असते.

2. मातीच्या स्थिरतेचे टप्पे:

• **सॉलिड(Solid):**

मातीमध्ये पाण्याचे सर्वात कमी प्रमाण असते. या अवस्थेत मातीचा आकार घटत नाही आणि ती कठोर बनलेली असते.

• **सेमी-सॉलिड(Semi-solid):**

ही स्थिती तेव्हा असते जेव्हा मातीमध्ये वाटर घटवले जाते, म्हणजेच प्लास्टिक स्थितीपासून कमी वाटर असलेली अवस्था.

• **प्लास्टिक(Plastic):**

मातीमध्ये वाटर कमी होऊन ती लवचिक आणि आकार घेण्यायोग्य बनते. मातीला सहजतेने आकार दिला जाऊ शकतो.

• **लिक्विड(Liquid):**

माती वाटर घालून पूर्णपणे लिक्विड रूपात बदललेली असते. या अवस्थेत माती गळून वाहू शकते आणि तिला वाहून जाण्यास प्रतिकार नाही.

3. स्थिरता हा एक शब्द आहे जो मातीच्या कठोरतेच्या प्रमाणाचे वर्णन करण्यासाठी वापरला जातो. मातीची स्थिरता "मुलायम", "मध्यम" आणि "कठोर" अशा शब्दांनी दर्शवली जाते. ही स्थिरता फक्त फाइन-ग्रेन्ड मातीसाठी, विशेषतः क्लेसाठी परिभाषित केली जाते आणि ती ओलसर, नमी आणि कोरड्या मातीच्या नमुन्यांवर मोजली जाते.

4. मातीची स्थिरता म्हणजे मातीच्या विकृती आणि फाटण्याच्या विरोधात असलेली प्रतिकारशक्ती. मातीच्या भौतिक गुणधर्मांवर मातीतील पाण्याच्या प्रमाणाचा मोठा प्रभाव पडतो. मातीची स्थिरता पाण्याच्या प्रमाणानुसार देखील बदलते.

5. प्रत्येक स्थितीमध्ये, मातीची स्थिरता आणि वागणूक वेगळी असते आणि त्यानुसार त्याची अभियांत्रिक गुणधर्मे देखील वेगळी असतात. म्हणून, प्रत्येक स्थितीमधील सीमा मातीच्या वागणुकीतील बदलावर आधारित परिभाषित केली जाऊ शकते..

6. माती एक स्थितीपासून दुसऱ्या स्थितीत बदलत असताना ज्या पाण्याच्या प्रमाणामुळे तो बदल होतो, त्याला स्थिरता सीमा (Consistency limit) असे म्हणतात.

7. अटेरबर्गने क्लेच्या वागणुकीचे समजून घेण्यासाठी या सीमांचे महत्त्व दर्शवले. म्हणूनच, या सीमांना अटेरबर्ग सीमा(Atterberg limits) असेही म्हटले जाते.

8. जेव्हा आपण सूक्ष्म कण असलेल्या मातीला मोठ्या प्रमाणावर पाण्यात मिसळतो, तेव्हा

- त्यापासून तयार होणारी मातीची निलंबन म्हणजे मातीची लिक्विड स्थिती (liquid state) असते. या स्थितीमध्ये मातीला प्रत्यक्षात कोणतीही कातडी प्रतिकारशक्ती (shear strength) नसते, म्हणजेच मातीला शून्य कातडी प्रतिकारशक्ती असते. तसेच, ती अगदी थोडा प्रतिकार न करता वाहते आणि द्रवासारखी वाहते.
9. जर निलंबनातील पाण्याचे प्रमाण कमी केले, तर माती कठोर होऊन कातडी प्रतिकारशक्ती विकसित करू लागते. ही स्थिती म्हणजे ज्या वेळी नमुना कातडी प्रतिकारशक्ती नसलेला असतो तेव्हा त्याला अणिकाय कातडी प्रतिकारशक्ती प्राप्त होते आणि ती लिक्विड स्थितीपासून प्लास्टिक स्थिती (plastic state) मध्ये बदलते.
 10. माती लिक्विड स्थितीपासून प्लास्टिक स्थितीमध्ये बदलताना पाण्याचे प्रमाण ज्या स्तरावर कमी होतो, त्याला लिक्विड सीमा (liquid limit) असे म्हणतात. दुसऱ्या शब्दात, माती लिक्विड स्थितीपासून थांबली की त्याचे वाटर प्रमाण त्याची लिक्विड सीमा आहे. ते द्रवासारखे वाहत नाही.
 11. प्लास्टिक स्थितीमध्ये माती विविध आकारांमध्ये आकारात आणता येऊ शकते, कारण तिच्या प्लास्टिसिटीमुळे ती तुटत नाही. आता जर आपण मातीचे वाटर आणखी कमी केले, तर तिची प्लास्टिसिटी कमी होईल आणि शेवटी माती प्लास्टिक स्थितीपासून सेमी-सॉलिड स्थिती (semi-solid state) मध्ये बदलेल.
 12. या स्थितीमध्ये जर आपण मातीला आकार देण्याचा प्रयत्न केला, तर ती तुटेल. माती तिची प्लास्टिसिटी गमावते आणि तुकड्यापासून जड होईल. ज्या पाण्याच्या प्रमाणावर माती प्लास्टिक होणे थांबवते आणि सेमी-सॉलिड स्थितीमध्ये बदलते, त्याला प्लास्टिक सीमा (Plastic limit) असे म्हणतात.
 13. या सेमी-सॉलिड स्थितीपर्यंत माती पूर्णपणे सैचुरेशन [SATURATION] राहते आणि पाण्याच्या प्रमाणात घट झाल्यावर मातीचे घनता कमी होईल. परंतु एक अशी स्थिती येते जेव्हा आणखी वाटर कमी केले तरी मातीचे घनता सारखाच राहते. तेव्हा माती सेमी-सॉलिड स्थितीपासून सॉलिड स्थिती (solid state) मध्ये बदलते.
 14. माती एका अशा मातीच्या वस्तुमानात परिवर्तीत होते ज्यामध्ये वाटर अंशतः भरणारे हवेतील छिद्र असतात. आता आपण समजू शकतो की, जर वाटर कमी केले, तर मातीचा आयतन समान राहतो परंतु तिच्या छिद्रातील वाटर कमी होते. त्यामुळे पाण्याच्या प्रमाणात घट झाल्यावर मातीचे आयतन बदलत नाही. म्हणजेच माती आता अधिक घटत नाही. आणि पाण्याच्या प्रमाणावर जेव्हा माती घटणे थांबवते, तेव्हा त्याला श्रींकेज लिमिट (Shrinkage Limit) असे म्हणतात. Its shrinkage limit.
 15. श्रींकेज लिमिट (Shrinkage limit) असेही परिभाषित करता येते की ते सर्वात कमी वाटर प्रमाण आहे ज्यावर माती पूर्णपणे सैचुरेशन [SATURATION] असते. जर आपण पाण्याचे प्रमाण या लिमिटखाली आणले, तर नमुना पृष्ठभागावर कोरडा होऊ लागतो आणि माती पूर्णपणे सैचुरेशन [SATURATION] राहत नाही. नमुन्याचा रंग देखील बदलू लागतो.

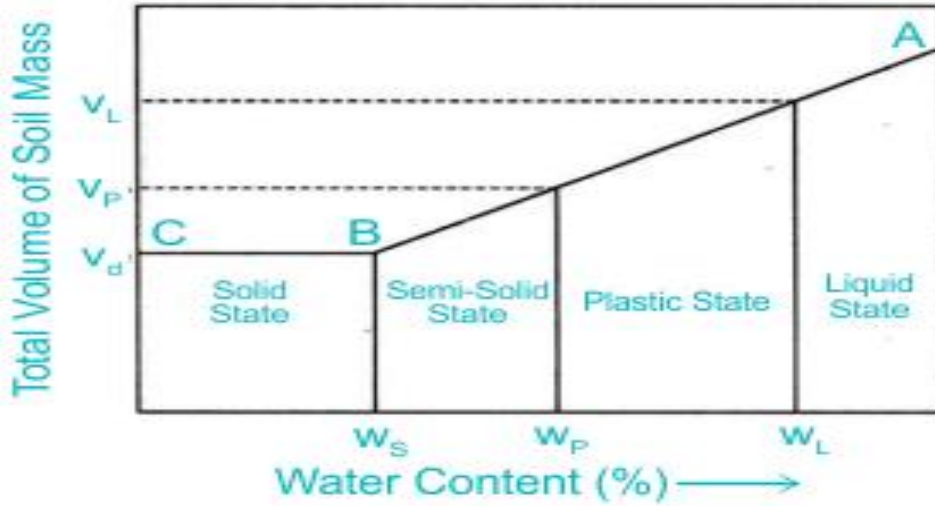


Figure 2.13 सुसंगततेची सीमा [Consistency Limits]

(स्रोत: <https://www.elementaryengineeringlibrary.com/civil-engineering/soil-mechanics/consistency-of-soil-and-atterberg-limits>)

16. इथे आपल्याला दिसते की मातीच्या आर्द्रतेच्या प्रमाणात घट झाल्यावर, तिचे आयतन देखील कमी होते. पण श्रिकेज लिमिटच्या खाली मातीच्या वस्तुमानाचे आयतन स्थिर राहते. हे सर्व लिमिट पाण्याच्या प्रमाणात टक्केवारीत असतात आणि ते सूक्ष्म कणयुक्त मातीच्या महत्वाच्या जलसंधारणाच्या मापांपैकी आहेत.

[स्रोत: <https://www.elementaryengineeringlibrary.com/civil-engineering/soil-mechanics/consistency-of-soil-and-atterberg-limits>]

2.4.2 कन्सिस्टन्सी लिमिट: त्या वाटर प्रमाणांना कन्सिस्टन्सी लिमिट म्हटले जाते, ज्यावर माती एका स्थितीपासून दुसऱ्या स्थितीत बदलते. या लिमिट अॅटरबर्ग लिमिट म्हणून ओळखल्या जातात, कारण स्वीडिश वैज्ञानिक अॅटरबर्ग यांनी यांचे महत्त्व प्रथम दर्शवले.

2.4.3 लिक्विड लिमिट (WL) - लिक्विड लिमिट ही संकल्पनेत अशी परिभाषित केली जाते की, ती मातीच्या प्लास्टिक स्थितीपासून लिक्विड स्थितीत बदलण्याचे वाटर प्रमाण आहे.

- पण प्रयोगात्मकदृष्ट्या, ते कॅसाग्रांडेच्या लिक्विड लिमिट यंत्राच्या २५ ठोशांच्या अंतर्गत दोन वेगळ्या गुळगुळीत मातीच्या भागांना एकत्र मिसळल्यावर प्राप्त होणारे किमान वाटर प्रमाण म्हणून परिभाषित केले जाते.
- हे किमान वाटर प्रमाण आहे ज्यावर मातीला वाहण्याची प्रवृत्ती असते. लिक्विड मर्यादेवर, मातीची सुसंगती प्लास्टिक स्थितीपासून लिक्विड स्थितीत बदलते.
- लिक्विड मर्यादेवर, सर्व मातीचे ताण-तणाव बळ जवळजवळ नगण्य असते, साधारणपणे २.७ किलोन्यूटन/चौरस मीटर. $[2.7 \text{ Kn/m}^2]$

2.4.4 प्लास्टिक लिमिट (WP) - प्लास्टिक लिमिट ही त्या कमाल वाटर प्रमाण म्हणून परिभाषित केली जाते ज्यावर मातीचे थ्रेड 3 मिमी व्यासाने रोल केल्यावर तुटते. जर कोणत्याही पाण्याच्या प्रमाणात 3 मिमी पर्यंत थ्रेड रोल करणे शक्य नसेल, तर मातीला नॉन-प्लास्टिक मानले जाते.

- वाटर ज्यावर मातीचा नमुना सेमी-सॉलिड स्थितीपासून प्लास्टिक स्थितीत बदलतो त्याला प्लास्टिक लिमिट म्हणतात.
- प्लास्टिक लिमिट मातीमध्ये असलेल्या चिकणमातीच्या खनिजांच्या प्रकारावर आणि प्रमाणावर अवलंबून असते. त्यामुळे चिकणमाती असलेल्या सूक्ष्म मातीला जास्त प्लास्टिक लिमिट असते.

2.4.5 श्रीकेज लिमिट (WS): श्रीकेज लिमिट ही त्या पाण्याच्या प्रमाणाची परिभाषा आहे ज्यावर मातीच्या घनतेत पाण्याच्या प्रमाणात घट होण्याची कोणतीही कमी होणे नाही.

- श्रीकेज लिमिट पाण्याच्या प्रमाणाचा सर्वात लहान मूल्य आहे ज्यावर मातीची रचना पूर्णपणे सैचुरेशन [SATURATION] असते. म्हणजेच, श्रीकेज मर्यादेच्या खाली माती आंशिकपणे सैचुरेशन [SATURATION] असते.

2.4.6 प्लास्टिकिटी इन्डेक्स (IP) - हा तो पाण्याच्या प्रमाणाचा श्रेणी आहे ज्यामध्ये माती प्लास्टिकता दर्शवते. हे लिक्विड लिमिट (LL) आणि प्लास्टिक लिमिट (PL) यांच्यातील फरकाच्या समान असते.

$$IP = WL - WP$$

WL = लिक्विड लिमिटवरील पाण्याचे प्रमाण.

WP = प्लास्टिक स्थितीवरील पाण्याचे प्रमाण.

- हे मुख्यतः चिकणमातीचे खनिजांच्या उपस्थितीमुळे असते.
- कोर्स ग्रेनड मातीमध्ये प्लास्टिक झोन नाही. त्यामुळे LL आणि PL एकसारखे होतात. [IP = 0]
- जर $PL \geq LL$ असेल, तर IP शून्य म्हणून नोंदवला जातो. IP कधीच नकारात्मक होऊ शकत नाही.
- प्लास्टिकिटी निर्देशांकाच्या आधारावर मातीचे वर्गीकरण.

तक्ता 2.3 - प्लास्टिकता सूचकांक.

IP(%)	मातीचे वर्णन (Soil Description)
0	नॉन-प्लास्टिक
1 to 5	थोडी प्लास्टिक
5 to 10	कमी प्लास्टिक
10 to 20	मध्यम प्लास्टिक
20 to 40	उच्च प्लास्टिक
>40	खूप उच्च प्लास्टिक

कन्सिस्टन्सी इन्डेक्स / सापेक्ष कन्सिस्टन्सी (IC) -याला मातीच्या लिक्विड सिमेची आणि नैसर्गिक वाटर कन्टेन्टच्या दरम्यानचे अंतर, प्लास्टिकता निर्देशांकाच्या प्रमाणानुसार परिभाषित केले जाते.

$$I_c = \frac{W_L - W}{I_p} = \frac{W_L - W}{W_L - W_P}$$

- **WP** = प्लास्टिक लिमिटवरील वाटर कन्टेन्ट (Water content at Plastic Limit)
- **WL** = लिक्विड सिमा वाटर कन्टेन्ट (Water content at Liquid Limit)
- **W** = नैसर्गिक वाटर कन्टेन्ट (Natural Water content)

तक्ता 2.4 - सुसंगतता सूचकांक

%IC	पाण्याची कन्टेन्ट [%Water Content]	कन्सिस्टन्सी [Consistency]
IC < 0	W > WL	माती लिक्विड स्थितीत आहे (Soil in Liquid State)
0 < IC < 1	WP < W < WL	माती प्लास्टिक स्थितीत आहे (Soil in Plastic State)
IC > 1	W < WP	माती ठोस/अर्ध-ठोस स्थितीत आहे (Soil in Solid/Semisolid) State

लिक्विडता इन्डेक्स (Liquidity Index - IL) -

याची व्याख्या अशी केली जाते की, मातीच्या नैसर्गिक वाटर कन्टेन्ट आणि तिच्या प्लास्टिक मर्यादेच्या (Plastic Limit) यामधील फरकाचे अनुपात प्लास्टिसिटी इन्डेक्स (Plasticity Index) च्या तुलनेत.

सूत्र:

$$IL = (WL - W) / IP$$

$$I_c = \frac{W - W_p}{I_p} = \frac{W - W_p}{W_L - W_P}$$

तक्ता 2.5 - लिक्विडता सूचकांक

%IL	पाण्याची कन्टेन्ट [%Water Content]	कन्सिस्टन्सी [Consistency]
IL < 0	W < WL	माती ठोस/अर्ध-ठोस स्थितीत आहे (Soil in Solid/Semisolid) State

$0 < I_L < 1$	$W_P < W < W_L$	माती प्लास्टिक स्थितीत आहे (Soil in Plastic State)
$I_L > 1$	$W > W_L$	माती लिक्विड स्थितीत आहे (Soil in Liquid State)

श्रीकेज इन्डेक्स (Shrinkage Index - IS) - हे सुसंगतीच्या अर्ध-ठोस स्थितीचे प्रतिनिधित्व करते.

$$IS = W_P - W_S$$

- W_P = प्लास्टिक लिमिटवरील वाटर कन्टेन्ट.
- W_S = श्रीकेज लिमिटवरील वाटर कन्टेन्ट.

कन्सिस्टन्सी इंडेक्स आणि लिक्विडिटी इंडेक्स यांचा एकत्रित योग नेहमी एक असतो. $I_C + I_L = 1$

टफनेस इंडेक्स (IT) - हे प्लास्टिसिटी इंडेक्स आणि फ्लो इंडेक्स यांचा गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते.

$$IT = I_P / I_F$$

2.4.7 लिक्विडसीमा निर्धारण: [Determination of Liquid Limit]

प्रक्रिया: लिक्विडसीमा चाचणी [Liquid Limit]:

- 425 मायक्रॉन आयएस गाळून केलेल्या सुक्या मातीच्या सुमारे 120 ग्रॅम नमुन्याला धातूच्या ट्रेमध्ये घ्या.
- मातीच्या नमुन्यात 20% पाण्याचा मिश्रण घाला, ज्यामुळे एकसारखा मातीचा मिश्रण तयार होईल.
- हा मातीचा मिश्रण कॅसाग्रांडेच्या उपकरणाच्या पितळाच्या कपात ठेवा आणि एका स्पॅट्युलाच्या काही स्ट्रोकसने ते आडवे पसरवा.
- मातीला 1 सेंटीमीटर जाडीपर्यंत समांतर करा आणि त्यातील कोणताही अतिरिक्त माती काढून टाका.
- मातीच्या नमुन्याला दोन भागांमध्ये विभाजित करा, कॅसाग्रांडेच्या उपकरणाच्या ग्रूव्हिंग टूलच्या ठोस स्ट्रोकसने बास कपच्या व्यासाच्या मध्यावर एक शुद्ध व तीव्र खाच तयार करा.
- कॅसाग्रांडेच्या उपकरणाच्या हँडलला प्रति सेकंद 2 पुनरावृत्त्यांमध्ये फिरवित राहा, जोपर्यंत मातीचे दोन भाग एकमेकांना संपर्क करीत नाहीत आणि माती फक्त फ्लोच्या सहाय्याने सुमारे 12 मिमी लांबीला एकत्र येतात.
- नंतर, खाच बंद करण्यासाठी लागणारी ब्लोची संख्या गोंधळते आणि ती नोंदवा. ती N म्हणून नोंदवलेली आहे.
- मातीच्या नमुन्याचा जलविज्ञानासाठी प्रतिनिधिक भाग घ्या आणि जलविज्ञान निश्चित करा.

9. वर दिलेल्या सर्व पावलं पुन्हा करा आणि मातीच्या नमुन्यात वाटर बदलून, 10 ते 50 ब्लो दरम्यान ब्लोची संख्या प्राप्त करण्याचा प्रयत्न करा. प्रत्येक चाचणीसाठी ब्लोची संख्या आणि संबंधित जलविज्ञान नोंदवा.
10. प्लो कर्व रेखा काढा म्हणजे, ब्लोची संख्या (अॅब्सिसा - लॉग स्केल) विरुद्ध जलविज्ञान (ऑर्डिनेट - नैतिक स्केल) यावर सेमी-लॉग्राफिक पेपरवर ड्रॉ करा.
11. 25 ब्लोच्या सापेक्ष जलविज्ञान नकाशावरून मातीच्या नमुन्याचा लिक्विडसीमा (WL) काढा.

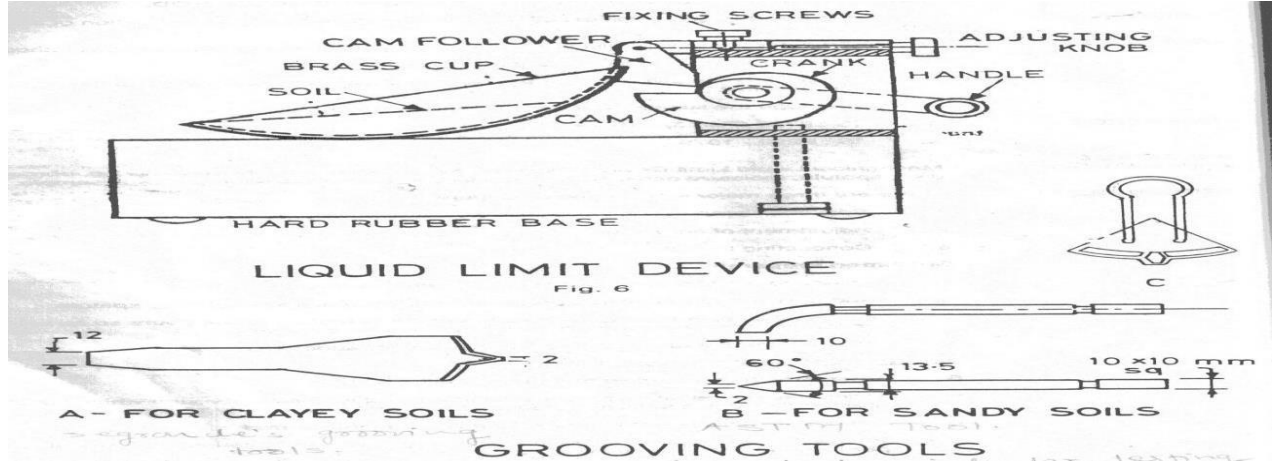


Figure 2.14 रेखा काढण्यासाठी साधने [Grooving Tools]



कॅसाग्रांडेचे उपकरण

गूव्हिंग साधने

मातीचा केक रोटेशन करण्यापूर्वी आणि नंतर

Figure 2.15 लिक्विड सीमा चाचणी [Liquid Limit Test]

(स्रोत: MSBTE प्रयोगशाळा मार्गदर्शिका भू-तांत्रिक अभियांत्रिकी 314315)

2.4.8 प्लास्टिक सीमा निर्धारण: [Determination of Plastic Limit]

प्लास्टिक सीमा चाचणी:

1. 425 मायक्रॉन आयएस गाळून केलेल्या सुक्या मातीच्या सुमारे 20-25 ग्रॅम नमुन्याला घ्या.
2. मातीमध्ये डिस्टिल्ड वाटर घाला आणि माती व्यवस्थित 10-15 मिनिटे मिसळा, जेणेकरून ती प्लास्टिकच्या अवस्थेत येईल आणि त्याला आकार देणे शक्य होईल. (क्ले मातीसाठी, त्याला 24 तासांसाठी पिकविण्याची शिफारस केली जाते.)

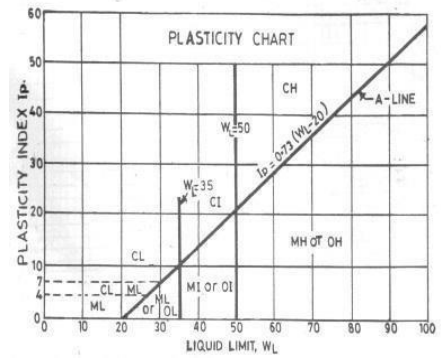
- मातीच्या पेस्टचे गोळे तयार करा आणि त्याला गैर-शोषक काचेच्या किंवा मार्बलच्या प्लेटवर बोटाच्या दाबाने 3 मिमी व्यासाचा मातीचा धागा होईपर्यंत लोटा.
- रोलिंगची प्रक्रिया सुरू ठेवा, जोपर्यंत माती चुरमुरी होईपर्यंत आणि ते एकसारखा धागा तयार करत नाही.
- तयार केलेल्या मातीच्या धाग्याची मेटल रॉडशी तुलना करा ज्याचा व्यास समान आहे आणि रोलिंग थांबवा, जेव्हा मातीचा धागा वेगवेगळ्या भागांत तुकड्यांमध्ये फुटतो.
- चुरमुरलेल्या मातीच्या भागांचा जलविज्ञान ओव्हन ड्रायंग पद्धतीने मापून W % म्हणून ठरवा.
- वर दिलेल्या सर्व पावलं दोन वेळा पुन्हा करा आणि त्याचे सरासरी जलविज्ञान मिळवून, मातीच्या नमुन्याची प्लास्टिक सीमा (WP) ठरवा.



वाटी, स्पॅटुला, कंटेनर



रोलिंग ऑफ सॉईल थ्रेड



प्लास्टिसिटी तक्ता

Figure 2.16 प्लास्टिक सीमा चाचणी [Plastic Limit Test]

(स्रोत: MSBTE GTE 314315 प्रयोगशाळा मार्गदर्शिका)

मातीच्या विविध सूचक गुणधर्मांमधील आपसी संबंध

1. G, w, S आणि e त्यांच्या दरम्यानचे संबंध:

$$S_e = wG$$

2. दरम्यानचे संबंध γ_d, γ, w तक्ता 2.6 - यामधील संबंध γ_d, γ, w

$\gamma = \frac{(G + S_e)\gamma_w}{1 + e}$	$\gamma = \frac{(G + wG)\gamma_w}{1 + e}$
$\gamma_{sat} = \frac{(G + S_e)\gamma_w}{1 + e}$	$\gamma_d = \frac{G}{1 + w}$
$\gamma = \frac{(G + wG)\gamma_w}{1 + e}$	$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$

Summary

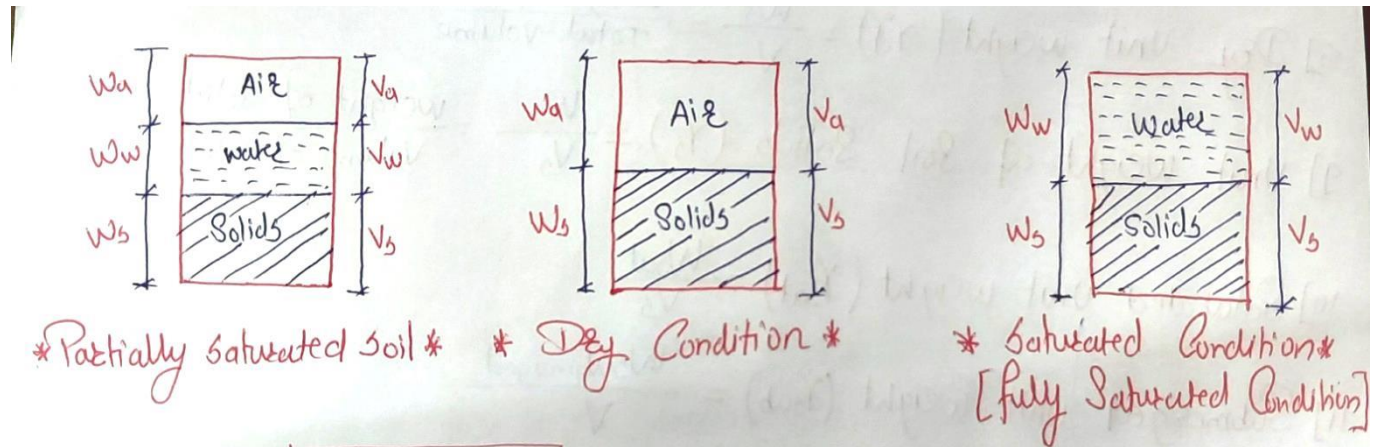


Figure 2.17 फेज डायग्राम

$$\text{Total Weight} = W = W_s + W_w$$

[W_a is small hence neglected]

$$\text{Total Volume} = V = V_s + V_a + V_w$$

[V_a is small hence neglected]

$$\text{Volume of Voids} = V_v = V_s + V_w$$

$$1. \text{ Water Content } (w) = \frac{\text{Weight of water}}{\text{Weight of Solids}} = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

$$2. \text{ Void Ratio } (e) = \frac{\text{Volume of Voids}}{\text{Volume of Solids}} = \frac{V_v}{V_s}$$

$$3. \text{ Porosity } (n) = \frac{\text{Volume of Voids}}{\text{Total Volume of Soil}} = \frac{V_v}{V}$$

$$4. \text{ Degree of Saturation } (S) = \frac{\text{Volume of water}}{\text{Volume of voids}} = \frac{V_w}{V_v}$$

$$5. \text{ Density Index } (I_D) = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

6. Density (ρ) = $\frac{M}{V}$ KG/m³

7. Bulk Unit Weight (γ) = $\frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w + V_a}$ KN/m³

8. Dry Unit Weight (γ_d) = $\frac{W_s}{V} = \frac{\text{Weight of Solids}}{\text{Total Volume}}$ KN/m³

9. Unit Weight of soil solids (γ_s) = $\frac{W_s}{V_s} = \frac{\text{Weight of Solids}}{\text{Volume of Solids}}$ KN/m³

10. Saturated unit weight (γ_{sat}) = $\frac{W_{sat}}{V_s}$ KN/m³

11. Submerged unit weight (γ_{sub}) = $\frac{W_{sub}}{V}$ KN/m³

12. Air Content (a_c) = $\frac{V_a}{V_v}$ if $a_c = 0\%$ then soil is saturated.
if $a_c = 100\%$ then soil is dry.

13. Specific Gravity (G) = $\frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{\text{Unit Weight of soil solids}}{\text{Unit Weight of water}}$

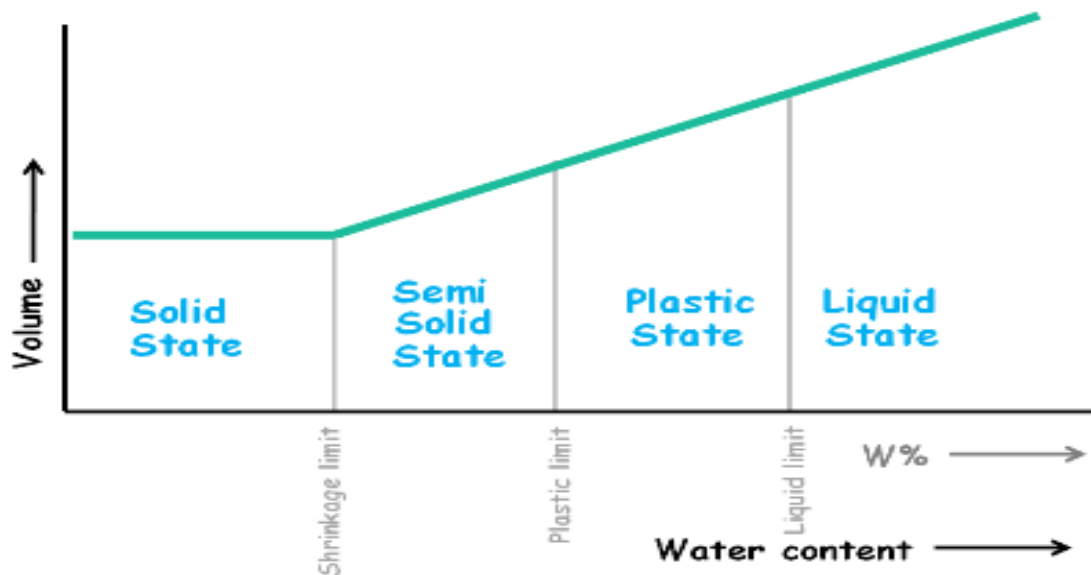


Figure 2.18 सुसंगतता मर्यादा

(स्रोत: <https://www.elementaryengineeringlibrary.com/civil-engineering/soil-mechanics/consistency-of-soil-and-atterberg-limits>)

14. W_s = Shrinkage Limit

W_p = Plastic Limit

W_L = Liquid Limit

15. Liquid Limit (W_L): Water content at which soil changes from Plastic state into Liquid state.

16. Plastic Limit (W_p): Water content at which soil will just begin to crumble when rolled into thread of approximately 3mm diameter.

17. Shrinkage Limit (W_s): It is the water content after which further decrease in water content does not cause any decrease in volume of soil mass.

18. Plasticity Index (I_p) = $W_L - W_p$.

19. Consistency Limit (I_L) = $\frac{W - W_L}{I_p} = \frac{W - W_L}{W_L - W_p}$.

20. Consistency Index (I_c) = $\frac{W_L - W}{I_p} = \frac{W_L - W}{W_L - W_p}$.

21. Coefficient of Uniformity (C_u) = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$.

If $C_u > 4$ for well graded gravel.

$C_u > 6$ for well graded Sand.

22. Coefficient of Curvature (C_c) = $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$.

If $C_c = 1$ to 3Then well Graded. [Otherwise Poorly / Uniformly Graded].

23. Particle size classification of soil.

1. Clay = Less than 2μ	4. Gravel = 4.75mm to 80mm
2. Silt = 2μ to 75μ	5. Pebbles = 80mm to 300mm
3. Sand = 75μ to 4.75mm	6. Boulders = More than 300mm

24. The Indian Standard Soil Classification System (ISSCS) classify the soil with help of Prefix indicating the particle size and Suffix indicating grading or Plasticity of soil.

तक्ता 2.7- ISSCS classify Prefix and Suffix for soils.

G = Gravel	S = Sand
M = Silt	O = Organic Silt
W = Well Graded	C = Clay
P = Poorly Graded	= Medium Compressibility
L = Low Compressibility	H = High Compressibility

GW = Well Graded Gravel	GM = Silty Gravel
SW = Well Graded Sand	SP = Poorly Graded Sand

25. Important Formulas

तक्ता 2.8 - Important Formulas

Dry Density $= \gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$	Specific Gravity $= G_m = \frac{\gamma}{\gamma_w}$
Void Ratio $= e = \frac{n}{1-n}$	Dry Density $= \gamma_d = \frac{G\gamma_w}{1+e}$
Porosity $= n = \frac{e}{1+e}$	Partially Saturated Density $= \gamma = \frac{(G+Se)\gamma_w}{1+e}$
Bulk Density $= \gamma = \frac{(1+w)G\gamma_w}{1+e}$	$S e = w G$
Dry Density $= \gamma_d = \frac{W_s}{V}$	Bulk Density $= \gamma_t = \frac{W}{V}$
Water Content $= w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$	Submerged Density $= \gamma_{sub} = \frac{(G-1)\gamma_w}{1+e}$
Density Index $= I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$	Saturated Density $= \gamma_{sat} = \frac{(G+e)\gamma_w}{1+e}$
Submerged Density $= \gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$	Specific Gravity by pycnometer test $G = \frac{[W_2 - W_1]}{[W_2 - W_1] - [W_3 - W_4]}$
Coefficient of Uniformity $(C_u) = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ $C_u > 4$ for well graded gravel. $C_u > 6$ for well graded Sand	Coefficient of Curvature $(C_c) = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ If $C_c = 1$ to 3] Then well Graded. [Otherwise Poorly / Uniformly Graded].

Problems

1. माती कणासाठी युनिफॉर्मिटी को-इफिशिएन्ट (**Cu**) आणि कर्वेचर को-इफिशिएन्ट (**Cc**) शोधा. जर **D10 = 0.15** मिमी, **D30 = 0.75** मिमी आणि **D60 = 2** मिमी असेल.

Given: D₁₀ = 0.15 mm, D₃₀ = 0.75 mm and D₆₀ = 2 mm

- Coefficient of Uniformity $(C_u) = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{2}{0.15} = 13.33$
- Coefficient of Curvature $(C_c) = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{(0.75)^2}{0.15 \times 2} = 1.875$

From above data soil is well graded Sand [SW]

2. पोरॉसिटी **35%** आणि स्पेसिफिक ग्रेविटी **2.67** असलेल्या मातीच्या नमुन्याचा व्हॉइड रेशो आणि ड्राय डेन्सिटी काढा.

Given : Porosity, $\eta = 35\% = \frac{35}{100} = 0.35$; Specific gravity, $G = 2.67$

Find: Voids ratio $e = ?$; Dry density $\gamma_d = ?$

$$1. \text{ Void Ratio } = e = \frac{n}{1-n} = \frac{0.35}{1-0.35} = \underline{0.538}$$

$$2. \text{ Dry Density } = \gamma_d = \frac{G\gamma_w}{1+e} = \frac{2.67 \times 1}{1+0.538} = \underline{1.736 \text{ gm/cc}} \dots\dots\dots [\gamma_w = 1 \text{ gm/cc}]$$

3. एका मातीच्या नमुन्याचा आकार **160 cc**, वजन **310** ग्रॅम आहे जेव्हा तो अंशतः सैचुरेशन **[SATURATION]** असतो. तो पूर्णपणे कोरडा असताना त्याचे वजन **269.28** ग्रॅम आहे. मातीचे स्पेसिफिक ग्रेविटी **2.64** आहे. पोरॉसिटी, व्हॉइड रेशो, वाटर प्रमाण आणि संतृप्तीचा अंश ठरवा.

Given: Volume of soil, $V = 160 \text{ cc}$, $W = 310 \text{ gms}$, $W = 269.28 \text{ gms}$,

Find: w , e , η , $S = ?$

1. To find water content w ,

$$\text{Bulk Density } = \gamma_t = \frac{W_{\text{wet}}}{V} = \frac{310}{160} = 1.937 \text{ gm/cc.}$$

$$\text{Dry Density } = \gamma_d = \frac{W_{\text{dry}}}{V} = \frac{269.28}{160} = 1.683 \text{ gm/cc.}$$

Use,

$$\text{Dry Density } = \gamma_d = \frac{\gamma_t}{1+w}$$

$$1.683 = \frac{1.937}{1+w}$$

$$w = 0.1509 \times 100\% = \boxed{w=15.09\%}$$

2. To find voids ratio e , use relation

$$\text{Dry Density } = \gamma_d = \frac{G\gamma_w}{1+e}$$

$$1.683 = \frac{2.64 \times 1}{1+e}$$

$$\boxed{e=0.568}$$

3. To find porosity η , use relation Porosity $= \eta = \frac{e}{1+e}$

$$\text{Porosity } = \eta = \frac{0.568}{1+0.568}$$

$$\text{Porosity } = \eta = 0.3622 = \boxed{\eta = 0.3622 \times 100\% = 36.22\%}$$

4. To find degree of saturation S , use relation $S.e = w.G$

$$S.e = w.G \quad S = \frac{w.G}{e}$$

$$S = \frac{15.09 \times 2.64}{0.568} = \boxed{S = 70.13\%}$$

4. एका मातीच्या नमुन्यासाठी युनिफॉर्मिटी को-इफिशिएन्ट आणि कर्वेचर को-इफिशिएन्ट काढा ज्यासाठी $D_{10} = 0.430$ मिमी, $D_{30} = 0.790$ मिमी, आणि $D_{60} = 1.300$ मिमी आहे.

Given: $D_{10} = 0.430$ mm, $D_{30} = 0.790$ mm, $D_{60} = 1.300$ mm

Find: Coefficient of uniformity, $C_u = ?$, Coefficient of curvature, $C_c = ?$

- Coefficient of Uniformity (C_u)** $= \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1.300}{0.430} = 3.023$
- Coefficient of Curvature (C_c)** $= \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{(0.790)^2}{0.430 \times 1.300} = 1.116$

From above data soil is well graded Soil.

5. मातीच्या नमुन्याची घनता 2000 किग्रॅ/मी^3 आहे आणि त्यातील वाटर प्रमाण 16% आहे. त्याची कोरडी घनता, व्हॉइड रेशो, पोरोसिटी आणि संतृप्तीचा अंश ठरवा.

Given:

Density $= \gamma = 2000 \text{ kg/m}^3 = 2 \text{ gm/cc}$.

Water content $= w = 16\% = 0.16$.

Find $\gamma_d = e = n = S = ?$

- Dry Density** $= \gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$

$$\gamma_d = \frac{2}{1+0.16} = \boxed{\gamma_d = 1.724 \text{ gm/cc}}$$

- To find void ratio e** , Assume specific gravity $G = 2.7$

$$\text{Dry Density} = \gamma_d = \frac{G\gamma_w}{1+e}$$

$$1.724 = \frac{2.7 \times 1}{1+e} \quad \boxed{e = 0.566}$$

- To find porosity n** , use relation **Porosity $= n = \frac{e}{1+e}$**

$$n = \frac{0.566}{1+0.566} \quad \boxed{n = 0.3614 \times 100\% = 36.14\%}$$

- To find degree of saturation S** , use relation **$S e = w G$**

$$S e = w G$$

$$S = \frac{0.16 \times 2.7}{0.566} = \boxed{S = 0.7636 \times 100\% = 76.36\%}$$

6. एका मातीच्या नमुन्याचा आकार **160 CC** आहे, आणि त्याचे वजन अंशतः सैचुरेशन **[SATURATION]** असताना **304** ग्रॅम आहे. तो पूर्णपणे कोरडा असताना त्याचे वजन **269.28** ग्रॅम आहे. मातीचे स्पेसिफिक ग्रेव्हिटी **2.64** आहे. पोरोसिटी, व्हॉइड रेशो, वाटर प्रमाण आणि संतृप्तीचा अंश ठरवा.

Given:

$V=160$ cc, $W_{wet}=304$ gms, $W_{dry}=269.28$ gms.

Calculate: w , e , η , S , =??

1. To find water content w ,

$$w = \frac{(W_{wet} - W_{dry})}{W_{dry}} = \frac{(304 - 269.28)}{269.28} \times 100$$

$$w = 12.893\%$$

2. To find Dry density, Assume specific gravity $G=2.64$

$$\gamma_d = \frac{W_{dry}}{V} = \frac{269.28}{160} = 1.683$$

$$\gamma_d = 1.683 \text{ gm/cc}$$

3. To find void ratio e ,

$$\text{Dry Density} = \gamma_d = \frac{G\gamma_w}{1+e}$$

$$1.683 = \frac{2.64 \times 1}{1+e}$$

$$e = 0.568$$

4. To find

$$n = \frac{e}{1+e}$$

$$n = \frac{0.568}{1+0.568}$$

$$n = 0.3622 \times 100\% = 36.22\%$$

porosity η , use relation Porosity

5. To find degree of saturation S , use relation $S.e = w.G$

$$S.e = w.G \quad S = \frac{wG}{e} \quad S = \frac{0.1289 \times 2.64}{0.568} =$$

$$S = 0.59911 \times 100\% = 59.911\%$$

7. नमुनाचा पोरॉसिटी **42%** आहे आणि मातीचे स्पेसिफिक ग्रेव्हिटी **2.70** आहे. व्हॉइड रेशो आणि ड्राय डेन्सिटी ठरवा.

Given: $\eta = 42\%$; $G = 2.70$

Find: $e = ?$; $\gamma_d = ?$

Solution :

$$\text{Void Ratio} = e = \frac{n}{1-n} = \frac{0.42}{1-0.42} =$$

$$e = 0.724$$

$$\text{Dry Density} = \gamma_d = \frac{G\gamma_w}{1+e}$$

$$\gamma_d = \frac{2.70 \times 1}{1+0.724} =$$

$$\gamma_d = 1.566 \text{ gm/cc}$$

8. वाळूचा वास्तविक व्हॉइड रेशो 0.6 आहे. येथे $e_{max} = 1.0$ आणि $e_{min} = 0.4$ आहे. वाळूचा सापेक्ष घनता शोधा."

Given: $e=0.6$, $e_{max}=1.0$ and $e_{min}=0.4$

Given: $e=0.6$, $e_{max}=1.0$ and $e_{min}=0.4$

Find: Relative density or Density Index (ID) =?

Solution: Use formula,

$$\text{Density Index} = I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad \text{Density Index} = I_D = \frac{1 - 0.6}{1 - 0.4}$$

$$\text{Density Index} = I_D = 0.6666$$

$$\text{Density Index} = I_D = 0.6666 \times 100\% = 66.66\%$$

9. प्रयोगशाळेत पिकनोमीटरद्वारे विशिष्ट गुरुत्वाची चाचणी केली गेली आणि खाली दिलेली निरीक्षणे नोंदवली. मातीचे सरासरी स्पेसिफिक ग्रॅव्हिटी शोधा.

Determination No.	1	2	3
1] Mass of Pycnometer [gm]	652	652	652
2] Mass of Pycnometer + Soil [gm]	918	950	933
3] Mass of Pycnometer + Soil + water [gm]	1640	1658	1649
4] Mass of Pycnometer + water [gm]	1470	1470	1470

Solution:

Determination1:

$$\text{Mass of Pycnometer [gm]} = W_1 = 652$$

$$\text{Mass of Pycnometer + Soil [gm]} = W_2 = 918$$

$$\text{Mass of Pycnometer + Soil + water [gm]} = W_3 = 1640$$

$$\text{Mass of Pycnometer + water [gm]} = W_4 = 1470$$

$$\text{Specific Gravity by pycnometer test } G = \frac{W_2 - W_1}{[W_2 - W_1] - [W_3 - W_4]}$$

$$\text{Specific Gravity by pycnometer test } G = \frac{918 - 652}{[918 - 652] - [1640 - 1470]}$$

$$G = 2.77$$

Determination2:

1. Mass of Pycnometer [gm]=W1=652
2. Mass of Pycnometer + Soil [gm]= W2=950
3. Mass of Pycnometer + Soil+ water [gm]=W3=1658
4. Mass of Pycnometer+ water [gm]=W4=1470

$$\text{Specific Gravity by pycnometer test } G = \frac{W2-W1}{[W2-W1]-[W3-W4]}$$

$$\text{Specific Gravity by pycnometer test } G = \frac{950-652}{[950-652]-[1658-1470]}$$

$$G=2.709$$

Determination3:

1. Mass of Pycnometer [gm]=W1=652
2. Mass of Pycnometer + Soil [gm]= W2=933
3. Mass of Pycnometer + Soil+ water [gm]=W3=1649
4. Mass of Pycnometer +water [gm]=W4=1470

$$\text{Specific Gravity by pycnometer test } G = \frac{W2-W1}{[W2-W1]-[W3-W4]}$$

$$\text{Specific Gravity by pycnometer test } G = \frac{[933-652]}{[933-652]-[1649-1470]}$$

$$G=2.75$$

Average Specific Gravity (G)

$$G = \frac{2.77+2.709+2.75}{3}$$

$$G=2.743$$

10. एका मातीच्या नमुन्याचा पोरॉसिटी **35%** आणि स्पेसिफिक ग्रॅव्हिटी **2.67** आहे. जर संतृप्ती **50%** आणि **100%** असेल तर त्याचा व्हॉइड रेशो , ड्राय डेन्सिटी आणि एकक वजन काढा

Given: $n=35\%=0.35$, $e=\gamma_d=\gamma_{sat}=?$

To find void ratio e,

$$e = \frac{n}{1-n} = \frac{0.35}{1-0.35}$$

$$e=0.538$$

To find dry density γ_d ,

$$\gamma_d = \frac{G\gamma_w}{1+e} = \frac{2.67 \times 1}{1+0.538}$$

$$\text{Dry Density}=\gamma_d=1.736\text{gm/cc}$$

When saturation $S=50\%=0.5$,

Partially Saturated Density = $\gamma =$

$$\gamma = \frac{(G + Se)\gamma_w}{1 + e} \quad \gamma = \frac{(2.67 + 0.5 \times 0.538)1}{1 + 0.538}$$

$$\text{Saturated Density} = \gamma = 50\% = 1.91 \text{ gm/cc}$$

When saturation $S=100\%=1$,

$$\text{Partially Saturated Density} = \gamma = \frac{(G + Se)\gamma_w}{1 + e}$$

Saturated Density =

$$\gamma = \frac{(G + Se)\gamma_w}{1 + e} \quad \gamma = \frac{(2.67 + 1 \times 0.538)1}{1 + 0.538}$$

$$\text{Saturated Density} = \gamma = 100\% = 2.085 \text{ gm/cc}$$

11. मातीच्या नमुन्याचा पोरॉसिटी **35%** आहे आणि स्पेसिफिक ग्रेव्हिटी **2.7** आहे. वॉइड रेशो , कोरडी घनता, सैचुरेशन **[SATURATION]** घनता आणि जलमग्न घनता काढा.

Solution:

Given: $n=35\%=0.35, e=\gamma_{dry}=\gamma_{sat}=\gamma_{sub}=??$

To find void ratio e ,

$$e = \frac{n}{1 - n} = \frac{0.35}{1 - 0.35} \quad e=0.538$$

To find dry density γ_d ,

$$\gamma_d = \frac{G\gamma_w}{1 + e} = \frac{2.7 \times 1}{1 + 0.538}$$

$$\text{Dry Density} = \gamma_d = 1.755 \text{ gm/cc}$$

Saturated Density γ_{sat} ,

$$\gamma_{sat} = \frac{(G + e)\gamma_w}{1 + e} = \frac{(2.7 + 0.538) \times 1}{1 + 0.538}$$

$$\text{Saturated Density} = \gamma = 2.105 \text{ gm/cc}$$

Submerged Density γ_{sub} ,

$$\text{Submerged Density} = \gamma_{\text{sub}}$$

$$\text{Submerged Density} = \gamma_{\text{sub}} \frac{(G-1)\gamma_w}{1+e}$$

$$\text{Submerged Density} = \gamma_{\text{sub}} \frac{(2.7-1) \times 1}{1+0.538} = 1.105 \text{ gm/cc}$$

OR

$$\text{Submerged Density} = \gamma_{\text{sub}} = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

$$\text{Submerged Density} = \gamma_{\text{sub}} = 2.105 - 1 = \underline{1.105 \text{ gm/cc}}$$

$$\text{Submerged Density} = \gamma_{\text{sub}} = 1.105 \text{ gm/cc}$$

महत्त्वाचे प्रश्न**दोन गुणांचे प्रश्न**

1. Define voids ratio and porosity.
2. State relation between e , S and W , G .
3. Draw 3-phase diagram for partially saturated soil.
4. Define degree of saturation and water content.
5. Define specific gravity of soil.

चार गुणांचे प्रश्न

1. Give step-by-step procedure to determine specific gravity of soil by Pycnometer in laboratory.
2. Explain the procedure for determination of plastic limit of soil.
3. Explain the procedure for determination of liquid limit of soil.
4. State relation between void ratio and porosity.
5. Describe procedure of determining water content by oven drying method,

सहा गुणांचे प्रश्न

1. Explain Atterberg's limits of consistency.
2. Explain step by step procedure for determination of bulk unit weight and dry unit weight by core cutter method.
3. Explain sieve analysis test for grading of soil with the help of particle size distribution curve.
4. Describe the field identification tests on soil.
5. Explain step by step procedure for determination of bulk unit weight and dry unit weight by sand replacement method.

युनिट 3. मातीची परमेयबिलिटी आणि शियर स्ट्रेंथ (Permeability and Shear Strength of Soil)

विषय निष्पत्ति (Course Outcome)

दिलेल्या मातीच्या नमुन्याची शियर स्ट्रेंथ निश्चित करा.

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes)

TLO 3.1 दिलेल्या मातीच्या नमुन्यासाठी परमेयबिलिटी कॉइफिसिएंट निश्चित करण्यासाठी दिलेल्या परिस्थितीत डार्सीचा परमेयबिलिटी नियम लागू करा.

TLO 3.2 दिलेल्या परिस्थितीत फ्लो नेटची संकल्पना लागू करा.

TLO 3.3 दिलेल्या प्रकारच्या मातीच्या नमुन्यासाठी मोहर कुलॉम्ब-फैलुअर इन्व्हलॉप काढा.

TLO 3.4 दिलेल्या मातीच्या नमुन्याची शियर स्ट्रेंथ निश्चित करण्यासाठी संबंधित पद्धत वापरा.

3.1.1 परमेयबिलिटीची व्याख्या (Definition of Permeability)

परमेयबिलिटी हा मातीचा गुणधर्म आहे ज्याद्वारे ती स्वतःमधून पाणी वाहू देते. मातीच्या कणांचा आकार कमी असेल तेव्हा मातीची परमेयबिलिटी कमी असते आणि मातीच्या कणांचा आकार जास्त परमेयबिलिटी असल्यास मातीची जास्त असते.

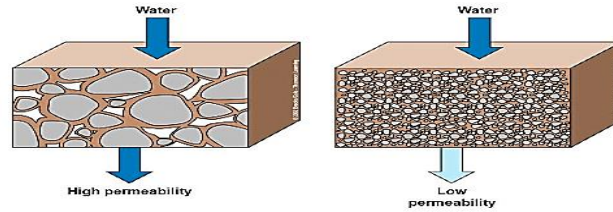


Figure 3.1 कणांच्या आकारानुसार मातीची परमेयबिलिटी
(स्रोत: <https://shorturl.at/NwXjS>)

3.1.2 डार्सीचा परमेयबिलिटी नियम (Darcy's Law of Permeability)

डार्सीचा परमेयबिलिटी नियम लॅमिनार प्रवाहाच्या गृहीतकावर आधारित आहे. डार्सीच्या मते, लॅमिनार प्रवाहात पाणी सरळ मार्गाने वाहते. याचा अर्थ, पाणी एकाच मार्गाने जात आहे आणि लगतच्या थरांना ओलांडत नाही तर टरबुलंट प्रवाहात पाणी त्याच मार्गाने जात नाही आणि लगतच्या थरांनाही ओलांडते.

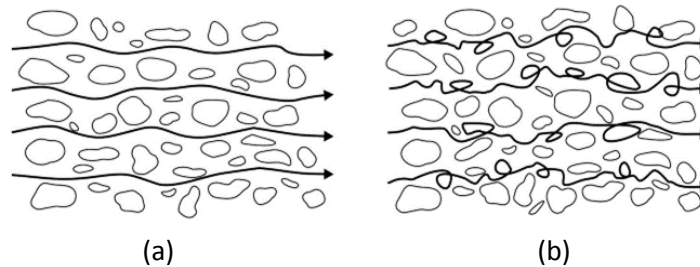


Figure 3.2 (a) लॅमिनार आणि (b) टरबुलंट मातीतून पाण्याचा प्रवाह

(स्रोत: bit.ly/4hARgvG)

डार्सीचा परमेयबिलिटी नियम सांगतो की, "प्रवाहाचा दर मातीच्या नमुन्याच्या हायड्रॉलिक ग्रेडियंट आणि क्रॉसप्रमाणात असतो परंतु स्थिर लॅमिनार प्रवाह स्थिती सेक्शनल क्षेत्राच्या थेट-त मातीच्या नमुन्याच्या लांबीच्या व्यस्त प्रमाणात असतो".

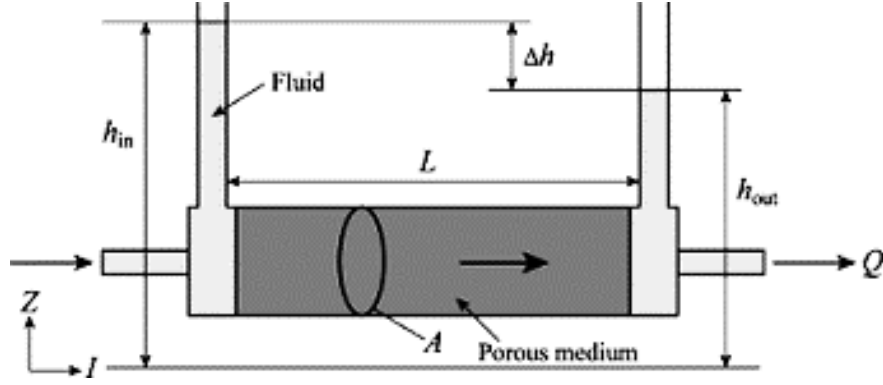


Figure 3.3 डार्सीचा परमेयबिलिटी नियम

(स्रोत: https://bit.ly/3WPpZgZ)

डार्सीच्या नियमानुसार, स्थिर लॅमिनार प्रवाह स्थितीत मातीमधून प्रवाहाचा वेग हा हायड्रॉलिक ग्रेडियंटच्या थेट प्रमाणात असतो.

$$V \propto i$$

$$V = K i$$

येथे,

$$i = \Delta h / L \quad \text{.....} (\Delta h = h_1 - h_2)$$

डार्सीच्या नियमानुसार,

$$Q \propto V \times A$$

$$Q = V \times A$$

$$\boxed{Q = K i \times A}$$

$$Q = K (\Delta h / L) \times A$$

$$Q = K [(h_1 - h_2) / L] \times A$$

जेथे,

V = मीटर सेकंदात प्रवाहाचा वेग/

i = मीटरमध्ये हायड्रॉलिक ग्रेडियंट

Q = प्रवाहाचा दर म्हणजेच मीटर/3सेकंदात स्त्राव

A = मीटर सेक्शनल क्षेत्रफळ-मध्ये मातीच्या नमुन्याचे क्रॉस 2

Δh = मीटरमध्ये हेडचा फरक

L = मीटरमध्ये मातीच्या नमुन्याची लांबी

K = परमेयबिलिटी गुणांक

3.1.3 परमेयबिलिटीवर परिणाम करणारे घटक (Factors affecting of Permeability)

मातीच्या परमेयबिलिटी वर परिणाम करणारे अनेक घटक आहेत जसे की,

1. कणांचा आकार – मातीचा कणांचा आकार लहान असताना कमी पोकळी निर्माण होते, त्यामुळे अशा मातीत कमी परमेयबिलिटी दिसून येते. परंतु, जेव्हा मातीमध्ये मोठे कण असतात तेव्हा ती अधिक पोकळी निर्माण करते, त्यामुळे अशी माती अधिक परमेयबिलिटी दर्शवते.
2. मातीचा प्रकार – वाळूची माती जास्त पोकळीमुळे जास्त परमेयबिलिटी दर्शवते तर गाळाची माती मध्यम परमेयबिलिटी दर्शवते आणि चिकणमाती माती कमी परमेयबिलिटी दर्शवते कारण मातीमध्ये कमी पोकळी असतात.
3. पोकळी प्रमाण – जेव्हा पाणी मातीतून वाहते तेव्हा मातीतील पोकळी पाणी शोषून घेतात आणि त्या पोकळी भरतात. अशा प्रकारे पाण्याचा वेग कमी होतो. परंतु पोकळी प्रमाण वाढल्याने मातीची परमेयबिलिटी वाढते आणि पोकळी प्रमाण कमी झाल्याने मातीची परमेयबिलिटी कमी होते.
4. पाण्याची गुणवत्ता – जर मातीतून वाहताना पाणी अशुद्ध असेल तर ही अशुद्धता पोकळीत अडकून प्रवाहाच्या मार्गात अडथळे निर्माण करू शकते ज्यामुळे पाण्याचा प्रवाह कमी होतो. म्हणून, कोणत्याही अशुद्धतेशिवाय पाणी सहजपणे मातीतून जाऊ शकते.
5. सॅचुरेशनची डिग्री – जेव्हा माती पूर्णपणे कोरडी असते तेव्हा माती पाणी शोषून घेऊ शकते आणि त्यामुळे पाण्याचा प्रवाह कमी होऊ शकतो. पूर्णपणे सॅचुरेशन माती पाणी पुढे ढकलू शकते ज्यामुळे पाण्याचा प्रवाह चांगला होतो.
6. मातीचे थर – जेव्हा पाणी जमिनीतून आडव्या दिशेने वाहत असते तेव्हा त्याचा प्रवाह एका थरात असतो त्यामुळे प्रवाह जलद असतो परंतु जेव्हा पाणी जमिनीतून उभ्या दिशेने वाहत असते तेव्हा त्याचा प्रवाह अनेक थरांमधून जात असतो त्यामुळे प्रवाह कमी असतो.
7. सेंद्रिय पदार्थ – मातीमध्ये सेंद्रिय पदार्थांच्या उपस्थितीमुळे पोकळी अडथळे निर्माण होतात आणि त्यामुळे मातीची परमेयबिलिटी कमी होते.

3.1.4 परमेयबिलिटी गुणांकाचे निर्धारण (Determination of Coefficient of Permeability)

A) कॉन्स्टंट हेड मेथड (Constant Head Method)

उद्दिष्ट – IS 2720(भाग –XVII) नुसार कॉन्स्टंट हेड पद्धतीने परमेयबिलिटीच्या गुणांकाचे निर्धारण.

उपकरण – कॉन्स्टंट हेड चाचणी उपकरण, वजन काटा, स्कूप, ग्रॅज्युएटेड सिलेंडर्स आणि स्टॉप वॉच.

चाचणीची उपयुक्तता – कॉन्स्टंट हेड चाचणीचा वापर अधिक परमेअबल मातीसाठी केला जातो ज्यांच्या परमेयबिलिटीचा गुणांक म्हणजे $K > 10^{-4}$ सेमी/सेकंद आहे.

प्रायोगिक सेटअप –

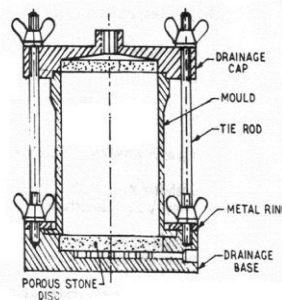
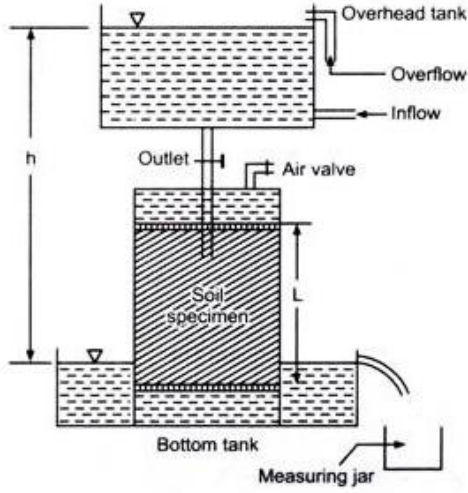


Figure 3.4 परमेयबिलिटी साचा असेंब्ली
(स्रोत: MSBTE lab Manual)



कॉन्स्टन्ट हेड उपकरण

कॉन्स्टन्ट हेडची योजनाबद्ध आकृती

Figure 3.5 कॉन्स्टन्ट हेड चाचणी

(स्रोत: <https://bit.ly/4aTG0lr> आणि <https://bit.ly/4hHIWv4>)

कार्यपद्धती –

- १.५ मिमी आयएस चाळणीतून २.५ किलो हवेने वाळलेल्या मातीचा नमुना घ्या.
- आवश्यक घनता मिळविण्यासाठी मातीमध्ये त्याच्या इष्टतम आर्द्रतेइतके (OMC) पाणी घाला.
- साच्याच्या आतील पृष्ठभागावर, बेस प्लेट आणि कॉलरला ग्रीस लावा. बेस प्लेटला एक्सटेंशन कॉलरने क्लॅम्प करा.
- तयार मातीचा नमुना परमीमीटरमध्ये तीन वेगवेगळ्या थरांमध्ये भरा. रॅमर वापरून २५ वार करून प्रत्येक थर कॉम्पॅक्ट करा.
- कॉलर काढा आणि साच्यासाठी जास्तीची माती ट्रिम करा. कॉम्पॅक्शन बेस प्लेट काढा.
- माती फिल्टर पेपर आणि दोन्ही बाजूंनी सच्छिद्र दगडांनी झाकून टाका.
- ड्रेनेज बेसमध्ये मोल्ड असेंब्ली ठेवा. रबर सीलिंग गॅस्केट वापरून त्यावर वरचा कॅप बसवा.
- मातीतून हवा काढून टाकण्यासाठी परमीमीटर मोल्डच्या वरच्या बाजूला ओपन एअर व्हेंट.
- मातीच्या नमुन्यासह साचा पाण्याच्या टाकीत बुडवा जेणेकरून तो सुमारे २४ तास संतृप्त होईल.
- परमीमीटरच्या इनलेट नोजलला कॉन्स्टंट हेड वॉटर टँकच्या आउटलेटशी जोडा. साच्याचा एअर व्हेंट बंद करा.
- परमीमीटरचा आउटलेट उघडा आणि तळाच्या पाण्याच्या टाकीमध्ये पाणी वाहू द्या. स्थिर प्रवाह स्थापित होण्यासाठी काही वेळ वाट पहा.

12. प्रवाह 'h' निर्माण करणारे हेड मोजा. योग्य वेळेच्या अंतराने (t) मोजण्यासाठी सिलेंडरमध्ये पाण्याचे प्रमाण (Q) गोळा करा.
13. मातीच्या परमेयबिलिटीचा गुणांक $K = (Q \times L) / (A \times h \times t)$ सेमी/से मध्ये मोजा.
14. दिलेल्या मातीच्या नमुन्याच्या परमेयबिलिटीचा सरासरी गुणांक मिळविण्यासाठी वरील सर्व चरण आणखी दोन वेळा करा.

निरीक्षणे –

1. मातीच्या नमुन्याची लांबी (L) =सेमी.
2. मातीच्या नमुन्याचा व्यास (D) =सेमी.
3. मातीच्या नमुन्याचे C/S क्षेत्रफळ (A) =सेमी.

निरीक्षण तक्ता –

अनुक्रमांक	सेमी मध्ये हेड 'h'	गोळा केलेल्या पाण्याचे प्रमाण मिली किंवा सीसी मध्ये 'Q'	सेकंदात वेळ 't'	परमेयबिलिटीचा गुणांक $K = (Q \times L) / (A \times h \times t)$ सेमीसेकंदात/
1				
2				
3				
4				

निकाल – स्थिर डोके पद्धतीने दिलेल्या मातीच्या पारगम्यतेचा सरासरी गुणांक सेमी/सेकंद आहे.

स्रोत – MSBTE lab manual

B) फॉलिंग हेड मेथड (Falling Head Method)

उद्दिष्ट – IS 2720(भाग –XVII) नुसार फॉलिंग हेड पद्धतीने पारगम्यतेच्या गुणांकाचे निर्धारण.

उपकरण – फॉलिंग हेड चाचणी उपकरण, वजन काटा, स्कूप, ग्रॅज्युएटेड सिलेंडर्स आणि स्टॉप वॉच .

चाचणीची उपयुक्तता – फॉलिंग हेड चाचणीचा वापर कमी परमेअबल मातीसाठी केला जातो ज्यांच्या परमेयबिलिटीचा गुणांक म्हणजे $K < 10^{-4}$ सेमी/सेकंद आहे.

प्रायोगिक सेटअप –

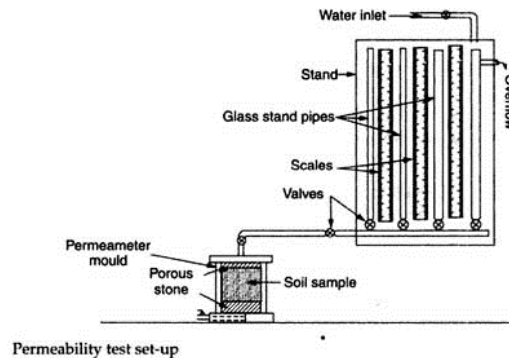


Figure 3.6 फॉलिंग हेड ची योजनाबद्ध आकृती
(स्रोत: <https://bit.ly/40JKexF>)

कार्यपद्धती –

१. ९.५ मिमी आयएस चाळणीतून २.५ किलो हवेने वाळलेल्या मातीचा नमुना घ्या.
२. आवश्यक घनता मिळविण्यासाठी मातीमध्ये त्याच्या इष्टतम आर्द्रतेइतके पाणी घाला.
३. साच्याच्या आतील पृष्ठभागावर, बेस प्लेट आणि कॉलरवर ग्रीस लावा. बेस प्लेटला एक्सटेंशन कॉलरने क्लॅम्प करा.
४. तयार मातीचा नमुना परमिटरमध्ये तीन वेगवेगळ्या थरांमध्ये भरा. रॅमर वापरून २५ वार करून प्रत्येक थर कॉम्पॅक्ट करा.
५. कॉलर काढा आणि साच्यासाठी जास्तीची माती ट्रिम करा. कॉम्पॅक्शन बेस प्लेट काढा.
६. माती फिल्टर पेपर आणि दोन्ही बाजूंनी सच्छिद्र दगडांनी झाकून टाका.
७. ड्रेनेज बेसमध्ये मोल्ड असेंब्ली ठेवा. रबर सीलिंग गॅस्केट वापरून त्यावर वरचा कॅप बसवा.
८. मातीतून हवा काढून टाकण्यासाठी परमिटर मोल्डच्या वर ओपन एअर व्हेंट.
९. मातीच्या नमुन्यासह साचा पाण्याच्या टाकीत बुडवा जेणेकरून तो सुमारे २४ तास संतृप्त होईल.
१०. पाण्याने भरलेल्या स्टँड पाईपला परमिटरचा इनलेट नोजल जोडा. परमिटरचा एअर व्हॉल्व्ह बंद करा.
११. परमिटरचा आउटलेट उघडा आणि पाणी बाहेर वाहू द्या. स्थिर प्रवाह स्थापित होण्यासाठी काही वेळ वाट पहा.
१२. हेड 'h1' आणि वेळ 't1' मोजा.
१३. स्टँड पाईपमधील पाण्याची पातळी खालच्या हेडपर्यंत खाली येऊ द्या. हेड 'h2' आणि संबंधित वेळ 't2' लक्षात घ्या.
१४. मातीच्या पारगम्यतेचा गुणांक $K = 2.303 \times a \times L / (A \times t) \times \log_{10} (h_1 / h_2)$ असा मोजा.
१५. दिलेल्या मातीच्या नमुन्याच्या पारगम्यतेचा सरासरी गुणांक मोजण्यासाठी वरील सर्व चरण आणखी दोन वेळा पुन्हा करा.

निरीक्षणे –

निरीक्षणे –

१. मातीच्या नमुन्याची लांबी (L) =सेमी.
२. मातीच्या नमुन्याचा व्यास (D) =सेमी.
३. मातीच्या नमुन्याचे C/S क्षेत्रफळ (A) =सेमी.
४. स्टँड पाईपचा व्यास (d) =सेमी.
५. स्टँड पाईपचे C/S क्षेत्रफळ (a) =सेमी.

निरीक्षण तक्ता –

अ नु क्र मां क	स्टँड पाईपचा अंतर्गत व्यास सेमी	स्टँड पाईपचे आतील)a(सेमीर	सुरुवा तीचा हेडचा आकार h1 सेमी	सुरुवाती चा वेळ t1 सेकंद	अंति म हेड h2 सेमी	अंति म वेळ t2 से.	वेळ मध्यांतर t = (t2 - t1) सेकंद	परमेयबिलिटीचा गुणांक $K = [2.303 \times a \times L / (A \times t)] \times \log_{10} (h_1 / h_2)$ सेमीसेकंद/
----------------------------	---	---	---	-----------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	--	---

1								
2								
3								
4								

निकाल – स्थिर डोके पद्धतीने दिलेल्या मातीच्या पारगम्यतेचा सरासरी गुणांक सेमी/सेकंद आहे.

स्रोत – MSBTE lab manual

3.1.5 परमेयबिलिटीचा गुणांक निश्चित करण्याची उदाहरणे (Numerical on determine Coefficient of Permeability)

उदा. 1. मातीचा नमुना स्थिर हेड परमिटमध्ये तपासण्यात आला. नमुन्याचा व्यास ४ सेमी आणि लांबी १० सेमी होती. १५ सेमीच्या स्थिर हेडखाली १० मिनिटांत ७० सीसी डिस्चार्ज गोळा झाला. पारगम्यतेचा गुणांक शोधा.

दिलेले – $D = 4 \text{ cm}$, $L = 10 \text{ cm}$, $H = 15 \text{ cm}$, $Q = 70 \text{ cc}$ and $t = 10 \text{ min} = 10 \times 60 = 600 \text{ sec}$.

सूत्र – $K = (Q \times L) / (A \times h \times t)$

उपाय – $K = (70 \times 10) / [(\pi/4 \times 4^2) \times 15 \times 600]$

$$K = 6.189 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$$

स्रोत – MSBTE exam S19 model answer

उदा. 2. ६० चौरस सेमी क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रफळ आणि १५ सेमी उंची असलेल्या मातीच्या नमुन्यावर फॉलिंग हेड पारगम्यता चाचणी करण्यात आली. ०.५ सेमी व्यासाच्या स्टँड पाईपमधील पाण्याची पातळी अर्ध्या तासात १०० सेमी ते ४० सेमी पर्यंत खाली येते. पारगम्यतेचा गुणांक किती आहे?

दिलेले – $A = 60 \text{ cm}^2$, $L = 15 \text{ cm}$, $a = [\pi/4 \times (0.5)^2] = 0.196 \text{ cm}^2$, $h_1 = 100 \text{ cm}$, $h_2 = 40 \text{ cm}$, and $t = 30 \text{ min} = 30 \times 60 = 1800 \text{ sec}$.

सूत्र – $K = 2.303 \times a \times L / (A \times t) \times \log_{10} (h_1 / h_2)$.

उपाय – $K = 2.303 \times 0.196 \times 15 / (60 \times 1800) \times \log_{10} (100 / 40)$

$$K = 2.49 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$$

स्रोत – <https://shorturl.at/YmoZb>

3.2.1 सिपेज (Seepage)

मातीतून पाणी वाहण्याच्या प्रक्रियेला झिरपणे म्हणतात. झिरपणे म्हणजे मातीच्या रचनेत परमेबल मातीतून वाहणारे पाणी. झिरपणेमध्ये द्विमितीय प्रवाहाचा विचार केला जातो ज्यामध्ये वेग क्षैतिज तसेच उभ्या दिशेने बदलतो.

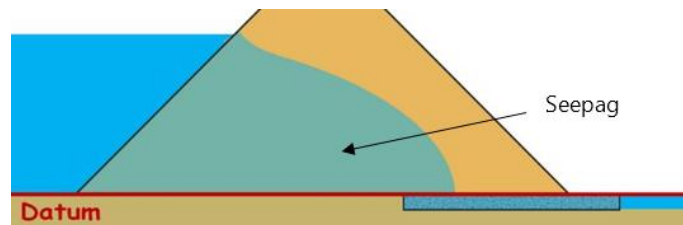


Figure 3.7 मातीच्या धरणातील गळती

(स्रोत: <https://shorturl.at/pnqMJ>)

3.2.2 प्रियाटिक लाइन किंवा सिपेज लाइन (Phreatic Line or Seepage Line)

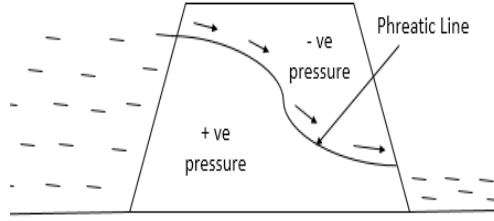


Figure 3.8 मातीच्या धरणातील प्रियाटिक लाइन

- मातीच्या धरणातून गळणाऱ्या प्रवाहाच्या वरच्या थराला प्रियाटिक लेयर म्हणतात.
- गळणाऱ्या प्रवाहात प्रियाटिक लेयरवर काढलेल्या कोणत्याही रेषेला प्रियाटिक लाईन म्हणतात.
- प्रियाटिक लाईनच्या खाली - पॉझिटिव्ह हायड्रोस्टॅटिक प्रेशर.
- प्रियाटिक लाईनच्या वर - निगेटिव्ह हायड्रोस्टॅटिक प्रेशर. हे असेही दर्शवते की, पाण्याचा दाब नसून हवेचा दाब बाहेर पडतो.

3.2.3 मातीच्या धरणातील गळती (Seepage through Earthen Dam)

1. पूर्णपणे एकसंध प्रकारच्या मातीच्या धरणात गळती रेषा

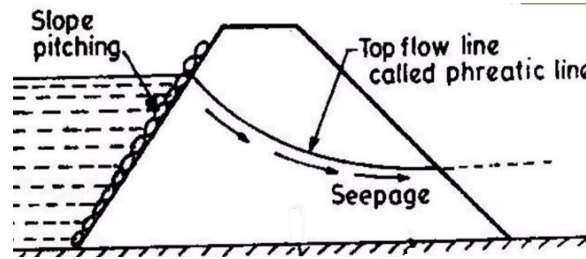


Figure 3.9 पूर्णपणे एकसंध प्रकारच्या मातीच्या धरणात गळती रेषा

(स्रोत: <https://rb.gy/ap88nc>)

2. सुधारित एकसंध विभागात आडव्या ड्रेनेज ब्लॉकटसह गळती रेषा. आडव्या ड्रेनेज ब्लॉकटमुळे मातीच्या धरणाच्या मुख्य भागात गळती रोखली जाते.

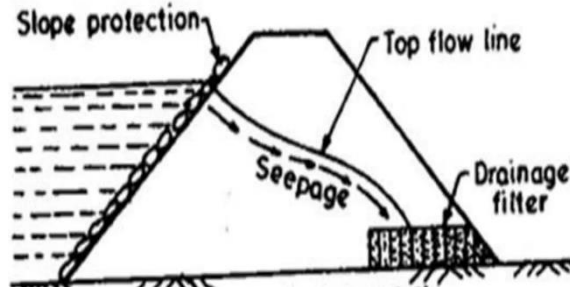


Figure 3.10 क्षैतिज ड्रेनेज ब्लॉकटसह सुधारित एकसंध विभागात SL

(स्रोत: <https://rb.gy/ap88nc>)

3. मातीच्या धरणाच्या एकसमान भागात रॉक टो दिल्यानंतर गळती रेषा. मातीच्या धरणाच्या शरीरात गळती रेषा चांगल्या प्रकारे प्रतिबंधित करते.

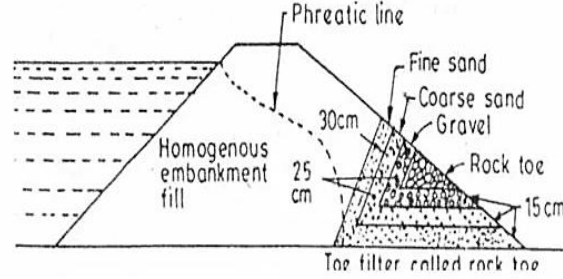


Figure 3.11 मातीच्या धरणाच्या एकसंध विभागात रॉक टो प्रदान केल्यानंतर एसएल

(स्रोत: <https://rb.gy/tz4hq1>)

4. उभ्या चिमणी ड्रेन पुरवल्यानंतर मातीच्या धरणाची गळती रेषा. उभ्या चिमणी ड्रेन बांधातून गळती रोखते.

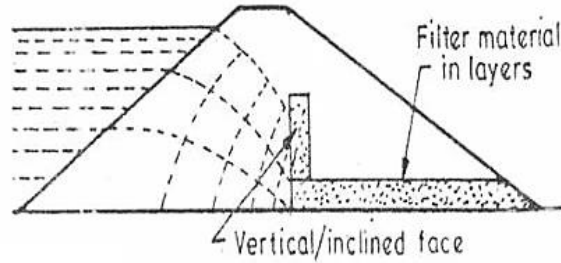


Figure 3.12 उभ्या चिमणी ड्रेन पुरवल्यानंतर मातीच्या बांधाचा SL

(स्रोत: <https://rb.gy/tz4hq1>)

3.2.4 झिरपण्याचा वेग (Seepage velocity) (V_s)

मातीच्या पोकळींमधून प्रवाहाच्या वेगाला गळतीचा वेग म्हणतात. परंतु, डारसीच्या नियमात वरवरचा वेग गृहीत धरला जातो. वरवरचा वेग (V) म्हणजे मातीच्या संपूर्ण वस्तुमानातून प्रवाहाचा वेग म्हणजेच मातीच्या संपूर्ण c/s क्षेत्रामधून प्रवाहाचा वेग. आणि लाप्लेस म्हणाले की, पाणी मातीच्या फक्त पोकळींमधून वाहते म्हणून फक्त पोकळींमधील आणि क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रात प्रवाहाचा वेग विचारात घ्या. लॅमिनार प्रवाहाचा विचार करता परमेयबिलिटीसाठी डारसीच्या समीकरणानुसार,

$$V = K i$$

$$Q = V \times A$$

पण, लाप्लेसच्या मते,

$$Q = V_s \times A_v$$

त्यामुळे,

$$Q = V \times A = V_s \times A_v$$

$$V = (V_s \times A_v) / A$$

$$n = V_s / V = A_v / A$$

n हा नेहमीच १ पेक्षा कमी असतो. म्हणून, झिरपण्याचा वेग हा वरवरच्या वेगापेक्षा नेहमीच जास्त असतो.

3.2.5 सीपेज दाब (Seepage pressure) (Ps)

पाण्याच्या प्रवाहादरम्यान मातीच्या कणांवर पाण्याचा जो दाब पडतो त्याला झिरपणारा दाब म्हणतात. हा दाब पाण्याच्या प्रवाहाच्या दिशेच्या विरुद्ध असतो.

$$P_s = h \times \gamma_w$$

जिथे, h = पाण्याचा वरचा भाग आणि γ_w = पाण्याचे विशिष्ट वजन

3.2.6 प्रवाह रेषा (Flow Line)

मातीच्या वस्तुमानातून किंवा मातीच्या धरणातून प्रवाहाची दिशा दर्शविणाऱ्या गळती प्रवाहातील रेषा ज्याला प्रवाह रेषा म्हणतात.

3.2.7 प्रवाह जाळे (Flow net)

प्रवाह रेषा, प्रवाह वाहिन्या आणि समतुल्य रेषांचे ग्राफिकल प्रतिनिधित्व याला प्रवाह जाळे म्हणतात.

- **समभाव रेषा (Equipotential lines)** – प्रवाह रेषांना ऑर्थोगोनल पद्धतीने छेदणाऱ्या आणि समान पाण्याचा दाब असलेल्या रेषा ज्या समभाव रेषा म्हणतात.
- **प्रवाह वाहिन्या (Flow channels)** – दोन समीप प्रवाह रेषांमध्ये असलेल्या पाण्याच्या प्रवाहाच्या वाहिन्या म्हणतात.

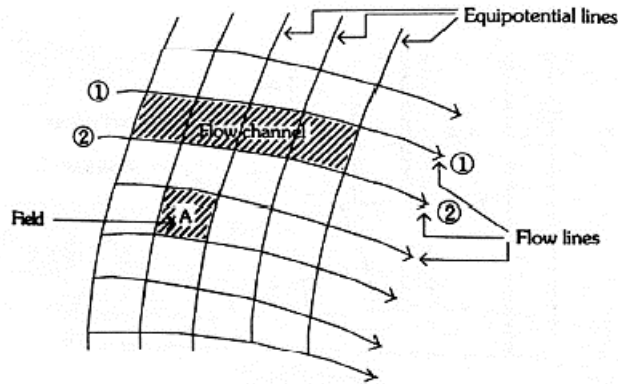


Figure 3.13 प्रवाह जाळे

(स्रोत: MSBTE exam W19)

● प्रवाह जाळ्याची वैशिष्ट्ये (Characteristics of flow net) –

1. प्रवाह जाळ्यातील प्रवाह रेषा आणि समताप रेषा एकमेकांना ऑर्थोगोनल पद्धतीने छेदतात.
2. या रेषांच्या छेदनबिंदूमुळे तयार झालेले क्षेत्रफळ किंवा क्षेत्र अंदाजे चौरस असते.
3. प्रत्येक वाहिनीतून वाहणाऱ्या पाण्याचे प्रमाण जवळजवळ सारखेच असते.
4. क्षेत्राचे लहान परिमाण जास्त हायड्रॉलिक ग्रेडियंट आणि प्रवाहाचा वेग जास्त दर्शवतात.

5. दोन समताप रेषांमधील संभाव्य घट समान असते

• **फ्लो नेटचे अनुप्रयोग (Applications of Flow net)**

1. मातीमध्ये गळतीचे प्रमाण आणि गळतीचा दाब निश्चित करणे उपयुक्त आहे.
2. कोणत्याही बिंदूवर हायड्रोस्टॅटिक दाब फ्लो नेट वापरून निश्चित केला जाऊ शकतो.
3. हायड्रॉलिक ग्रेडियंट मोजणे उपयुक्त आहे.
4. धरणाच्या स्थिरतेत घट निर्माण करणारा अपलिफ्ट दाब फ्लो नेटद्वारे मोजता येतो.
5. फ्लो नेटद्वारे छिद्रातील पाण्याच्या दाबाची गणना करणे सोपे आहे.
6. संरचनेच्या सीमा आकारांची रचना आणि मूल्यांकन करणे उपयुक्त आहे.

3.3.1 मातीचे शियर फेल्युअर होणे (Shear Failure of Soil)

जेव्हा मातीवरील शियर ताण मातीच्या शियरच्या ताकदीपेक्षा जास्त असते तेव्हा मातीमध्ये शियर फेल्युअर होते. उतार, पाया आणि टिकवून ठेवणाऱ्या संरचनेच्या विश्लेषणात हा एक अतिशय महत्वाचा घटक आहे.

3.3.2 शियर फेल्युअर होण्याची फील्ड परिस्थिती (Field situations of shear failure)

1. जड रचनेमुळे मातीवर जास्त भार.
2. मातीमध्ये जास्त पाणी असल्याने मातीची शियर फेल्युअर होणे.
3. मातीचे कॉम्पॅक्शन कमी असताना आणि माती सैल स्थितीत राहिल्यास.
4. मातीमध्ये अंतर्गत घर्षण खूप कमी असल्यास.
5. भूकंपाच्या घटनांमुळे मातीवर अचानक कातरणे निकामी होऊ शकते ज्यामुळे बिघाड होऊ शकतो.
6. अस्थिर उतारांमुळे गुरुत्वाकर्षण शक्तींमुळे शियर फेल्युअर होऊ शकते.
7. हे खूप मऊ आणि अत्यंत दाबण्यायोग्य मातीत देखील होऊ शकते.

3.3.3 मातीची शियर स्ट्रेंथ (Shear strength of soil)

मातीच्या वस्तुमानाच्या विकृतीशिवाय जास्तीत जास्त शियर ताणाचा प्रतिकार करण्याच्या ताकदीला शियर स्ट्रेंथ म्हणतात.

• **शियर ताण (Shear Stress)**

एखाद्या पदार्थाच्या पृष्ठभागाशी समांतर कार्य करणारा ताण याला शियरचा ताण म्हणतात. मातीमध्ये, ते मातीवर किंवा जमिनीत लावलेल्या भारांमुळे उद्भवते.

• **शियरचा प्रतिकार (Shear resistance)**

शियर स्ट्रेंथ चा प्रतिकार करण्यासाठी मातीच्या वस्तुमानाने लावलेल्या प्रतिकाराला शियरचा प्रतिकार म्हणतात.

3.3.4 मातीच्या शियर प्रतिकाराचे घटक (Components of shearing resistance of soil)

• **कोहेजन (Cohesion) (C)**

मातीच्या कणांना एकत्र धरून ठेवणे हा मातीचा गुणधर्म आहे. त्याला समान कणांमधील आकर्षण बल असेही म्हणतात. ते N/mm^2 मध्ये मानले जाते.

• **अंतर्गत घर्षण (Internal Friction) (ϕ)**

शियर ताणाच्या क्रियेमुळे मातीच्या कणांचे सतत शियरच्या विस्थापनामुळे होणाऱ्या विकृतीला होणाऱ्या प्रतिकाराला अंतर्गत घर्षण म्हणतात. ते अंशांमध्ये मोजले जाते .

• **मोहर कौलॉम्ब अपयश सिद्धांत (Mohr Coulomb Failure Theory)**

मोहरचे वर्तुळ (Mohr's Circle)

मोहरच्या मते, शियरचे ताण आणि सामान्य ताण यांच्या गंभीर मिश्रणामुळे बिघाड होतो . जेव्हा मातीच्या शियरचे ताण सामान्य ताणाचे कार्य असते तेव्हा माती बिघाडातून जाते.

$$\therefore \tau_f = f(\sigma) \quad \dots\dots(1)$$

जिथे, τ_f = शियर ताण आणि σ = सामान्य ताण

फेल्युअरच्या वेळी कातरणेला कातरणेची ताकद म्हणतात, म्हणून वरील समीकरण (1) खालीलप्रमाणे नमूद करता येईल.

$$\therefore \tau_f = S = f(\sigma) \quad \dots\dots(2)$$

कुठे, S = शियरची ताकद

जेव्हा सामान्य ताणाशी संबंधित शियर ताण प्लॉट केला जातो, तेव्हा तयार झालेला वक्र रेषा स्ट्रेंथ आवरण म्हणून गणला जातो.

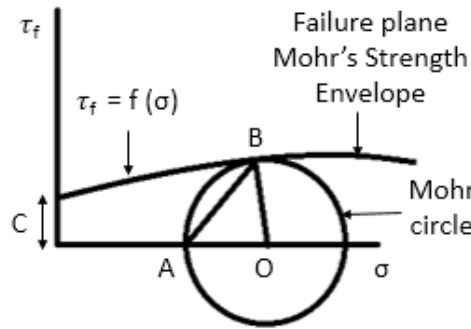


Figure 3.14 मोहरचे वर्तुळ

कौलॉम्बचा नियम (Coulomb Law)

कौलॉम्बने मोहर समीकरणात बदल केले आहेत आणि कौलॉम्बनुसार, शियर स्ट्रेंथ सामान्य ताणाशी रेषीयदृष्ट्या संबंधित मातीची शियरची प्रतिकारशक्ती दर्शवते. कौलॉम्बने खालील समीकरण व्यक्त केले आहे.

$$S = C + \sigma \tan \phi \quad \dots\dots(3)$$

जिथे, S = शियर स्ट्रेंथ

C = कोहेजन

ϕ = अंतर्गत घर्षणाचा कोन आणि σ = सामान्य ताण

म्हणून, मोहरचा लिफाफा एका सरळ रेषेने बदलला जातो.

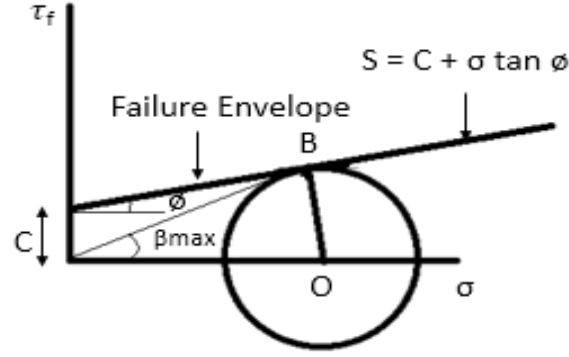
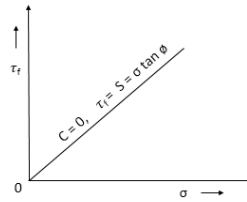


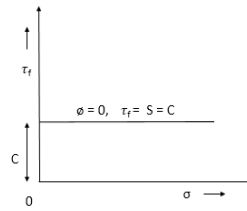
Figure 3.15 मोहर-कूलॉम्बचे वर्तुळ

कोहेजन सामान्य ताणापासून स्वतंत्र असते आणि ती मातीचे कण एकत्र ठेवते. अंतर्गत अंशाचा कोन मातीच्या कणांमधील घर्षण प्रतिकार दर्शवितो. अशाप्रकारे जेव्हा सामान्य आणि कातरण्याच्या ताणांचे गंभीर संयोजन मोहर - कूलॉम्ब वर्तुळाला स्पर्श करून जास्तीत जास्त तिरकसता देते तेव्हा समतलावर बिघाड होतो. त्यावर आधारित तीन परिस्थिती उद्भवतात जसे की,

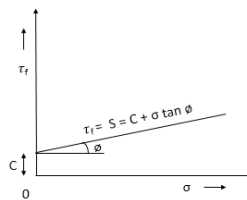
i)

Figure 3.16 मोहर्स कूलॉम्ब लिफाफा -- कोहेजन नसलेली माती i.e. $C = 0$

ii)

Figure 3.17 मोहर्स कूलॉम्ब लिफाफा -- पूर्णपणे कोहेजन मातीसाठी i.e. $\phi = 0$

iii)

Figure 3.18 मोहर्स कूलॉम्ब लिफाफा - कोहेजन C आणि अंतर्गत घर्षण ϕ असलेल्या विविध मातीसाठी

3.3.5 स्ट्रेंथ लिफाफा (Strength Envelope)

जेव्हा सर्व मोहर वर्तुळाला एक सामान्य स्पर्शिका काढली जाते तेव्हा या स्पर्शिका रेषा कातरण्याच्या शक्तीचे मूल्य आणि अपयशाच्या स्थितीत सामान्य ताण दर्शवतात. या सामान्य स्पर्शिकेला स्ट्रेंथ लिफाफा म्हणतात.

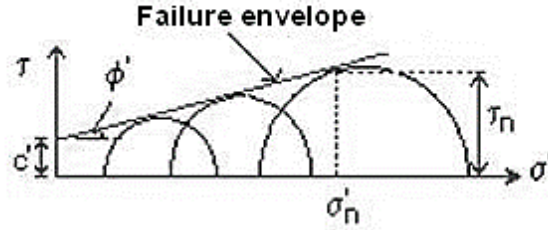


Figure 3.19 स्ट्रेंथ लिफाफा

(स्रोत: <https://rb.gy/mtlkew>)

3.3.6 स्ट्रेंथचे समीकरण - पूर्णपणे कोहेजन माती आणि कोहेजन नसलेली मातीसाठी (Strength Equation for purely cohesive and cohesion less soil)

i)

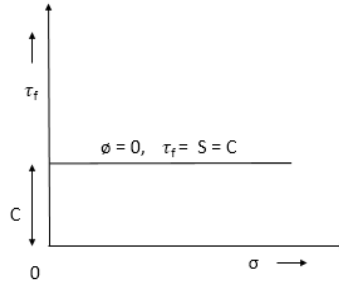


Figure 3.20 मोहर्स कूलॉम्ब लिफा - पूर्णपणे कोहेजन मातीसाठी i.e. $\phi = 0$
स्ट्रेंथचे समीकरण,

$$\tau_f = S = C \quad \dots(\phi = 0)$$

ii)

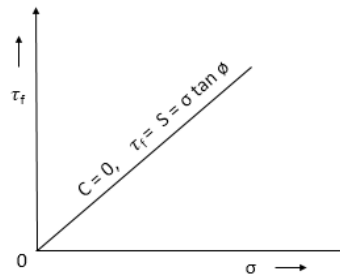


Figure 3.21 मोहर्स कूलॉम्ब लिफाफा - कोहेजन नसलेली माती i.e. $C = 0$
स्ट्रेंथचे समीकरण,

$$\tau_f = S = C + \sigma \tan \phi$$

3.4.1 प्रयोगशाळा पद्धती (Laboratory methods)

• डायरेक्ट शियर टेस्ट (Direct Shear Test)

उद्दिष्ट -IS 2720(भाग -XIII) नुसार डायरेक्ट शियर चाचणीद्वारे मातीची शियर स्ट्रेंथ निश्चित करणे.

उपकरण डायरेक्ट -शियर चाचणी उपकरणे, शियर बॉक्स, बॉक्स कंटेनर, बेस प्लेट, ग्रिड प्लेट्स, सच्छिद्र दगड, योक असलेली लोडिंग फ्रेम 7, प्रोव्हिंग रिंग, डायल गेज, कॉम्पॅक्शन डिक्वाइसेस आणि स्पॅटुला.

प्रायोगिक सेटअप -

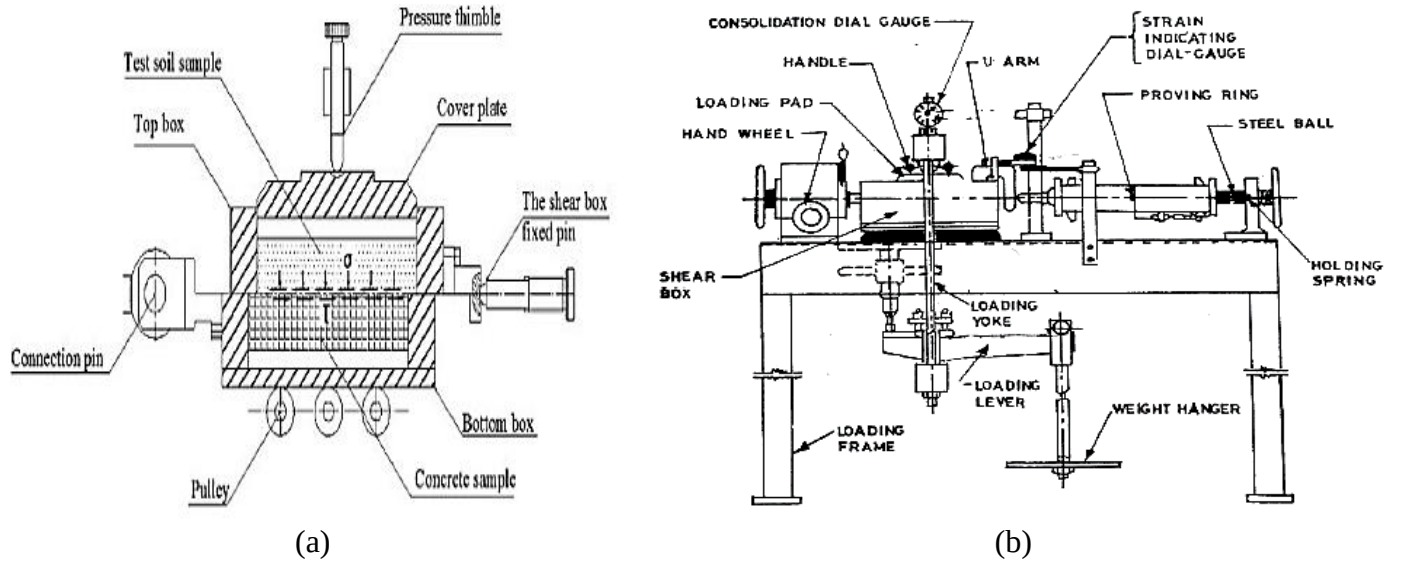


Figure 3.22 (a) शियर बॉक्स असेम्बली आणि (b) डायरेक्ट शियर चाचणी उपकरण

(स्रोत: (a) MSBTE lab Manual and (b) MSBTE exam W19 model answer)

प्रक्रिया -

1. ४.७५ मिमी मधून जाणारा २.५ किलो हवा वाळलेल्या मातीचा नमुना घ्या आणि २.३६ मिमी IS चाळणीवर ठेवा.
2. शीअर बॉक्सचे अंतर्गत परिमाण मोजा. लॉकिंग स्कू वापरून बॉक्सचा वरचा भाग खालच्या भागाशी जोडा. बेस प्लेट खालच्या भागाशी जोडा.
3. UU चाचणी करण्यासाठी, नमुन्यांच्या वरच्या आणि खालच्या बाजूस साध्या दातदार ग्रिड (छिद्रांशिवाय) वापरल्या जातात. ग्रिड प्लेटवर सच्छिद्र दगड ठेवा.
4. बेस प्लेट, ग्रिड प्लेट आणि सच्छिद्र दगडाने शीअर बॉक्सचे वजन करा. मातीचा नमुना बॉक्समध्ये ठेवा. आवश्यक घनतेवर थेट शीअर बॉक्समध्ये टॅप करा.
5. शीअर बॉक्सच्या वरच्या अर्ध्या भागातील माती भरल्यावर, मातीच्या नमुन्याने बॉक्सचे वजन करा. बॉक्समध्ये असलेल्या बॉक्सचे वजन करा आणि बॉक्सवर लोडिंग पॅड बसवा. लोडिंग फ्रेमवर असलेला बॉक्स बसवा.
6. बॉक्सचा वरचा अर्धा भाग प्रोव्हिंग रिंगच्या संपर्कात आणा. थोडी हालचाल करून संपर्क तपासा.

7. लोडिंग पॅडवर ठेवलेल्या बॉलवर लोडिंग योक बसवा. उभ्या विस्थापनाची नोंद करण्यासाठी लोडिंग योकवर डायल गेज बसवा आणि क्षैतिज विस्थापनाची नोंद करण्यासाठी कंटेनरवर दुसरा डायल गेज बसवा.
8. सामान्य ताण लागू करण्यासाठी लोडिंग योकवर 0.5 N/mm^2 चे स्लॉटेड वजन ठेवा. उभ्या विस्थापन डायल गेजचे वाचन लक्षात घ्या.
9. लॉकिंग स्कू काढा. स्पेसिंग स्कू वापरून, वरचा भाग खालच्या भागापेक्षा थोडा वर उचला जेणेकरून अंतर जास्तीत जास्त कण आकारापेक्षा थोडे मोठे असेल. स्पेसिंग स्कू काढा.
10. मातीचे शीअर फेल्युअर होईपर्यंत 0.2 मिमी/मिनिट या स्थिर दराने क्षैतिज शीअर लोड लावा. फेल्युअरच्या वेळी शीअर स्ट्रेस जाणून घेण्यासाठी नियमित वेळेच्या अंतराने प्रोव्हिंग रिंग, उभ्या विस्थापन डायल गेज आणि क्षैतिज विस्थापन डायल गेजचे वाचन रेकॉर्ड करा.
11. $1.0, 1.5, 2.0 \text{ N/mm}^2$ इत्यादी सामान्य ताणांखाली समान नमुन्यांवर चाचणी पुन्हा करा. मातीची शीअर स्ट्रेथ शोधण्यासाठी सामान्य ताण हे मूल्य ऑब्सिसा म्हणून आणि जास्तीत जास्त शीअरिंग स्ट्रेस हे ऑर्डिनेट म्हणून घेऊन आलेख तयार करा.

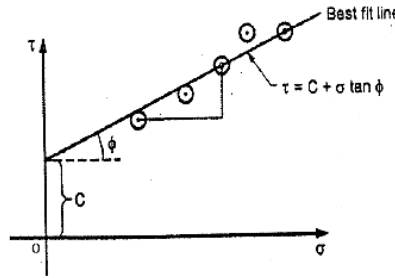


Figure 3.23 आलेख सामान्य ताण वि. शीअर ताण

(स्रोत: MSBTE exam W19 model answer (Diagram & Procedure))

• व्हेन शीअर टेस्ट (Vane Shear Test)

उद्दिष्ट - IS 2720 (भाग - XXX) नुसार वेन शीअर चाचणीद्वारे मातीची शीअर ताकद निश्चित करणे.

उपकरण - वेन, कॅलिब्रेटेड टॉर्क स्प्रींग, दंडगोलाकार माती कंटेनर आणि ट्रेसह वेन शीअर चाचणी उपकरण.

प्रायोगिक सेटअप -

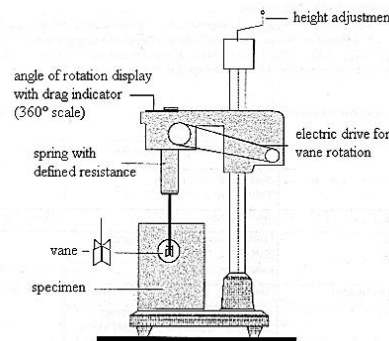


Figure 3.24 वेन शीअर चाचणी उपकरण

(स्रोत: <https://rb.gy/kdbjtl>)

प्रक्रिया -

1. ४२५ मायक्रॉन IS चाळणीतून जाणारी बारीक एकसंध माती एका ट्रेमध्ये घ्या आणि आवश्यक ओलावा येईपर्यंत पाणी घाला. ते एकसारखे मिसळा.
2. नमुना कंटेनरमधील ओली माती आवश्यक घनतेपर्यंत कॉम्पॅक्ट करा. कंटेनरच्या वरच्या भागाशी फ्लश करून ती समतल करा.
3. नमुना कंटेनरला वेन शीअर उपकरणाच्या बेसवर मातीने माउंट करा आणि ते बेसवर सुरक्षितपणे बसवा.
4. टॉर्क ऑप्लिकेटरला वेनने जोडण्यासाठी आवश्यक कॅलिब्रेटेड टॉर्क स्प्रिंग जोडा.
5. मातीच्या नमुन्याला कमीत कमी अडथळा आणून शीअर व्हेन हळूहळू नमुन्यात खाली करा जेणेकरून वेनचा वरचा भाग मातीच्या नमुन्याच्या वरच्या भागापेक्षा कमीत कमी १० मिमी खाली असेल.
6. स्प्रिंग कडकपणा लक्षात घ्या.
7. टॉर्क (०१) चे प्रारंभिक वाचन लक्षात घ्या.
8. नमुना अपयशी होईपर्यंत टॉर्क ऑप्लिकेटर हँडल योग्यरित्या चालवून वेनला अंदाजे ०.१/पहा एकसमान दराने फिरवा.
9. टॉर्कचे अंतिम वाचन लक्षात घ्या (०२).
10. व्हेन वर उचला, मातीचा नमुना काढा आणि कंटेनर स्वच्छ करा.
11. त्याच मातीतील आणि त्याच पाण्याच्या प्रमाणावरील आणखी दोन नमुन्यांसाठी वरील चरणांची पुनरावृत्ती करा, सरासरी कातरण्याची ताकद मोजा.
12. टॉर्क मोजण्यासाठी, $T = [(\theta_1 - \theta_2) \times \pi \times K] / 90^\circ$ (जिथे, T = टॉर्क, $(\theta_1 - \theta_2)$ = कोनाचा फरक, K = स्प्रिंग कडकपणा).
13. कातरण्याची ताकद मोजण्यासाठी, $T_f = T / \{\pi \times [(d_2H/2) + (d_3/6)]\}$ (जिथे, d - वेनचा व्यास (सेमी), H वेनची उंची (सेमी), T_f = कातरण्याची ताकद (किलो/सेमी^२), T = लागू केलेला टॉर्क (किलो-सेमी).

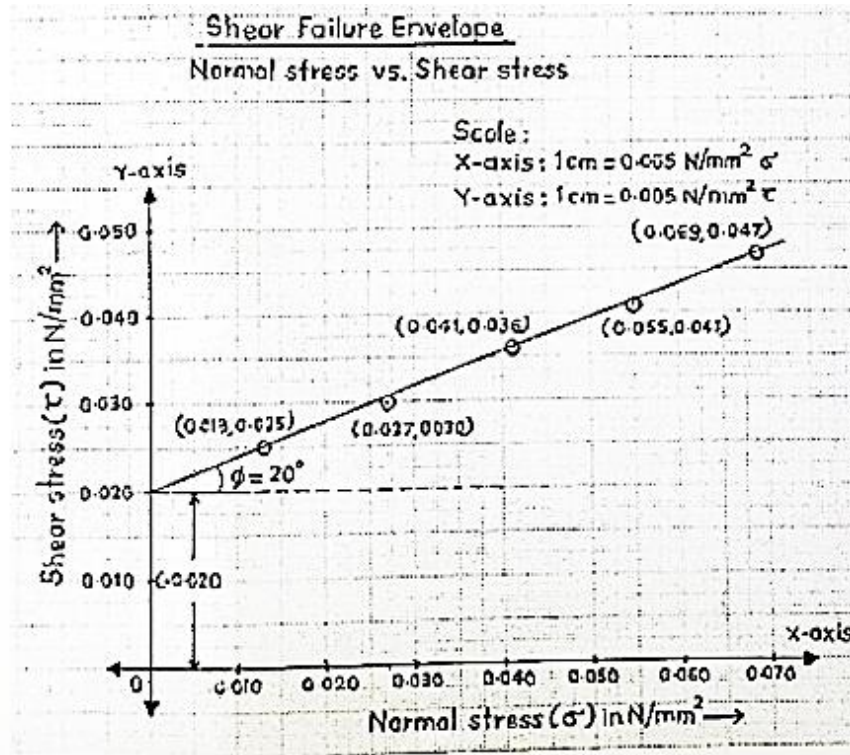
3.4.2 डायरेक्ट शियर टेस्ट उदाहरणे (Numerical on Direct Shear Test)

उदा.1. डायरेक्ट शियर चाचणीमध्ये खालील निरीक्षणे नोंदवली गेली,

सामान्य ताण (N/mm ²)	0.013	0.027	0.041	0.055	0.069
शीअर ताण (N/mm ²)	0.025	0.030	0.036	0.041	0.047

मातीसाठी स्ट्रेंथ लिफाफा काढा आणि C आणि ϕ ची किंमत शोधा.

उपाय –



From above graph:

1. Cohesion $C = 0.020 \text{ N/mm}^2$
2. Angle of internal friction $\phi = 20^\circ$

Figure 3.25 आलेख सामान्य ताण वि. शीअर ताण
(स्रोत: MSBTE exam S23 model answer)

महत्त्वाचे प्रश्न

दोन गुणांचे प्रश्न

1. List any four factors affecting permeability.
2. Define: Cohesion and internal friction.
3. Define permeability of soil.
4. Define shear strength of soil.
5. Define flow line and equipotential line.

चार गुणांचे प्रश्न

1. Define flow net and state its characteristics with neat sketch.
2. Draw shear strength envelope for purely cohesive and cohesion less soil with sketch.
3. A sample of soil 10 cm height and 50 cm² in c/s area water flows through the soil under a constant head of 80 cm. Water collected in 9 minutes is 450 C.C. Find the coefficient of permeability.
4. A constant head permeameter gives discharge of 305 ml in 270 seconds under a constant head of 870 mm. Determine the coefficient of permeability of soil sample was 120 mm long and 78.5 cm² in area.
5. State applications of flow net.

सहा गुणांचे प्रश्न

1. Explain the procedure of determination of coefficient of permeability by constant head method.
2. In shear box test, following observations were recorded at the failure of soil specimen. Find the value of cohesion C and internal friction ϕ by graphical method.

Normal Stress (kg/cm ²)	1.00	1.50	2.50	3.50
Shear Stress (kg/cm ²)	0.80	1.15	1.42	1.70

3. Explain the direct shear test to determine shear strength of soil with neat sketch.
4. State conditions of seepage in earthen dam with neat sketch.
5. Explain the vane shear test to determine shear strength of soil with neat sketch.

युनिट 4. मातीचे कॉम्पॅक्शन आणि स्थिरीकरण

(Compaction and Stabilization of Soil)

विषय निष्पत्ति (Course Outcome)

दिलेल्या मातीच्या नमुन्याचे मापदंड निश्चित करण्यासाठी संबंधित कॉम्पॅक्शन पद्धतीचा वापर करा.

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes)

TLO 4.1: कॉम्पॅक्शनच्या संबंधित पद्धतीचा वापर करून दिलेल्या नमुन्याचे कॉम्पॅक्शन हाती घ्या.

TLO 4.2: आयएस कोडनुसार देय परिस्थितीसाठी माती स्थिरीकरणाची संबंधित पद्धत वापरा.

TLO 4.3: आयएस कोडनुसार दिलेल्या मातीच्या नमुन्यांची सीबीआर मूल्ये निश्चित करा.

TLO 4.4: दिलेल्या परिस्थितीत लेबल केलेल्या स्केचसह बाजूकडील पृथ्वीवरील दबाव सिद्धांत स्पष्ट करा.

4.1 मातीचे कॉम्पॅक्शन (Compaction of Soil)

4.1.1 कॉम्पॅक्शनची संकल्पना (Concept of Compaction):

मातीचे कॉम्पॅक्शन म्हणजे मातीच्या कणांमधील हवेतील पोकळी कमी करून मातीची घनता वाढवण्याची प्रक्रिया, सामान्यतः यांत्रिक माध्यमांचा वापर करून. मातीची ताकद, स्थिरता आणि भार सहन करण्याची क्षमता सुधारणे हे उद्दिष्ट आहे, ज्यामुळे ती पाया, रस्ते आणि फुटपाथ यासारख्या बांधकाम कामांसाठी योग्य बनते.

जेव्हा माती कॉम्पॅक्ट केली जाते, तेव्हा कण एकत्र दाबले जातात, ज्यामुळे पोकळीच्या जागा (मातीच्या कणांमधील अंतर) कमी होतात. यामुळे मातीची घनता आणि ताकद वाढते, ज्यामुळे ती भाराखाली हालचाल आणि विकृतीला अधिक प्रतिरोधक बनते

4.1.2 मातीच्या संकुचिततेचा उद्देश (Purpose of soil Compaction):

- **वाढलेली ताकद (Increased Strength):** संकुचित मातीची ताकद जास्त असते, म्हणजेच ती विकृत न होता जास्त भार सहन करू शकते.
- **कमी झालेले स्थिरीकरण (Reduced Settlement):** संकुचितीकरणामुळे संरचनांचे दीर्घकालीन स्थिरीकरण कमी होण्यास मदत होते. संकुचित नसलेली माती कालांतराने संकुचित होऊ शकते, ज्यामुळे संरचनात्मक नुकसान होऊ शकते.

- **सुधारित भार सहन करण्याची क्षमता (Improved Load-Bearing Capacity):** योग्यरित्या संकुचित केलेली माती अधिक वजन आणि दाब सहन करू शकते, ज्यामुळे ती रस्ते, इमारती आणि इतर पायाभूत सुविधांच्या पायासाठी योग्य बनते.
- **सुधारित टिकाऊपणा (Improved Durability):** संकुचितीकरणामुळे मातीची धूप आणि इतर पर्यावरणीय शक्तींना प्रतिकारशक्ती सुधारू शकते.
- **कमी पाण्याची पारगम्यता (Reduced Water Permeability):** माती घट्ट केल्याने तिची पारगम्यता कमी होते, ज्यामुळे पाण्याचा शिरकाव रोखण्यास मदत होते ज्यामुळे रचना कमकुवत होऊ शकते.

4.1.3 फील्ड परिस्थिती जिथे कॉम्पॅक्शन आवश्यक आहे (Field situation where compaction is required):

- मातीचे कॉम्पॅक्शन विविध क्षेत्रीय परिस्थितींमध्ये महत्वाचे असते जिथे मातीची स्थिरता, ताकद आणि कार्यक्षमता आधारभूत संरचना, फुटपाथ किंवा कोणत्याही प्रकारच्या पायाभूत सुविधांसाठी महत्वाची असते. येथे प्रमुख क्षेत्रीय परिस्थिती आहेत जिथे कॉम्पॅक्शन आवश्यक आहे.
- **रस्ते बांधकाम:** रस्त्याच्या फरसबंदी (सबग्रेड) खालील माती कॉम्पॅक्ट करणे आवश्यक आहे जेणेकरून वाहतुकीचा भार सहन करू शकेल आणि वस्ती रोखू शकेल असा स्थिर पाया तयार होईल.
- **पाया बांधकाम:** इमारतीच्या पायाखालील माती कॉम्पॅक्ट करणे आवश्यक आहे जेणेकरून संरचनेसाठी स्थिर, मजबूत पाया सुनिश्चित होईल. असमान कॉम्पॅक्शनमुळे वस्ती आणि संरचनात्मक समस्या उद्भवू शकतात.
- **फुटपाथ बांधकाम:** धावपट्टी चांगल्या कॉम्पॅक्ट केलेल्या मातीवर बांधली पाहिजे जेणेकरून ते विमानांच्या टेक-ऑफ आणि लँडिंगच्या गतिमान भारांना हलवता किंवा क्रॅक न करता हाताळू शकतील.
- **लँडफिल:** लँडफिलच्या पायथ्याशी असलेली माती कॉम्पॅक्ट केली जाते जेणेकरून एक स्थिर आणि अभेद्य पृष्ठभाग तयार होईल जो कचरा सामग्रीला आसपासच्या वातावरणात हलवण्यापासून किंवा गळतीपासून रोखेल.

बंधारे आणि धरणे: धरणे, बांध आणि बांधांसाठी, माती कॉम्पॅक्ट करणे आवश्यक आहे जेणेकरून एक जलरोधक, स्थिर रचना तयार होईल जी राखून ठेवलेल्या पाण्याच्या धूप आणि दाबाचा प्रतिकार करू शकेल.

• **रेल्वे ट्रॅक आणि बॅलास्ट:** रेल्वे ट्रॅकचे सबग्रेड आणि सब-बॅलास्ट थर योग्य भार वितरण सुनिश्चित करण्यासाठी आणि गाड्यांच्या वजनाखाली जमा होण्यास प्रतिबंध करण्यासाठी कॉम्पॅक्ट केले पाहिजेत. रेल्वे टायांना आधार देणारा कुचलेला दगड किंवा रेतीचा थर (बॅलास्ट) देखील कॉम्पॅक्ट केला पाहिजे जेणेकरून तो चालत्या गाड्यांमधून येणाऱ्या बाजूकडील शक्ती आणि कंपनांना प्रभावीपणे प्रतिकार करू शकेल.

• **उतार स्थिरीकरण आणि मातीची धूप नियंत्रण:** पाण्याच्या प्रवाहामुळे भूस्खलन किंवा धूप होण्याची शक्यता कमी करण्यासाठी मातीची धूप होण्याची शक्यता असलेल्या भागात, जसे की उंच उतार किंवा तटबंदी, कॉम्पॅक्ट करणे आवश्यक आहे.

• **पायाभूत सुविधांसाठी उतार मजबुतीकरण:** भिंत स्थिर राहते आणि राखून ठेवलेल्या मातीच्या बाजूकडील दाबाचा प्रतिकार करते याची खात्री करण्यासाठी रिटेनिंग वॉलच्या मागे असलेली माती कॉम्पॅक्ट केली जाते. उत्खननाचे काम करताना, खोदकाम टाळण्यासाठी आणि संरचनात्मक स्थिरता राखण्यासाठी उत्खननाभोवतीचा बॅकफिल (उदा., तळघर किंवा बोगद्यांसाठी) योग्यरित्या कॉम्पॅक्ट केला पाहिजे.

4.1.4 स्टँडर्ड प्रॉक्टर टेस्ट (Standard Proctor Test):

स्टँडर्ड प्रॉक्टर टेस्ट (SPT) ही एक प्रयोगशाळेतील टेस्ट आहे जी माती कॉम्पॅक्ट केल्यावर त्याची जास्तीत जास्त कोरडी घनता किती इष्टतम आर्द्रता प्राप्त करेल हे ठरवते. रस्ते आणि पाया डिझाइनसह बांधकामाच्या उद्देशाने मातीची कॉम्पॅक्शन वैशिष्ट्ये समजून घेण्यासाठी ही एक आवश्यक टेस्ट आहे. IS 2720 (भाग 7): 1980 कोडनुसार, स्टँडर्ड प्रॉक्टर टेस्टची व्याख्या आणि तपशीलवार वर्णन केले आहे. टेस्टमध्ये ओलावा घनता संबंध शोधण्यासाठी वेगवेगळ्या आर्द्रतेवर साच्यात मातीचा नमुना कॉम्पॅक्ट करणे समाविष्ट आहे. खाली टेस्ट प्रक्रियेचा आढावा दिला आहे.

वापरलेली उपकरणे:

1. **प्रॉक्टर साचा:** 1000 cc³ आकारमान आणि 12cm उंची असलेला दंडगोलाकार साचा.
2. **हातोडा:** 2.6 किलो (5.7 पौंड) हातोडा ज्याची उंची 31.6 cm आहे.
3. **कॉम्पॅक्शन पेडेस्टल:** कॉम्पॅक्शन दरम्यान साचा धरून ठेवणारा आधार.

4. शिल्लक: मातीचे वजन करण्यासाठी आणि साच्याचे वजन मोजण्यासाठी.
5. ओव्हन: मातीचे नमुने सुकविण्यासाठी.
6. ओलावा असलेले पात्र: ओलावा मोजण्यासाठी.
7. चाळणी: मातीमधून जाण्यासाठी (सामान्यतः 4.75 mm चाळणीतून जाण्यासाठी).

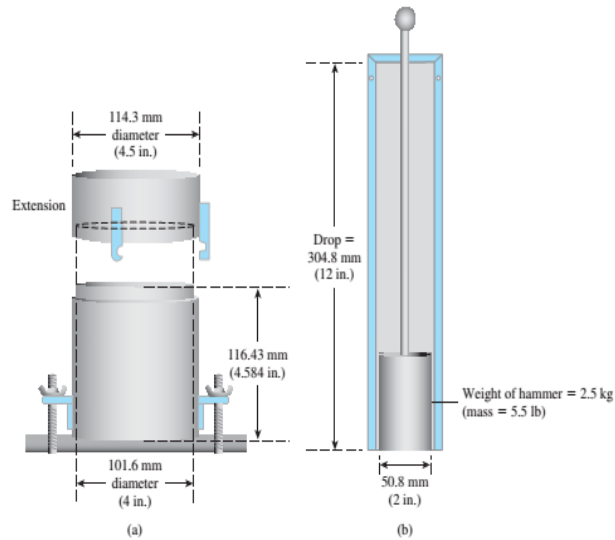
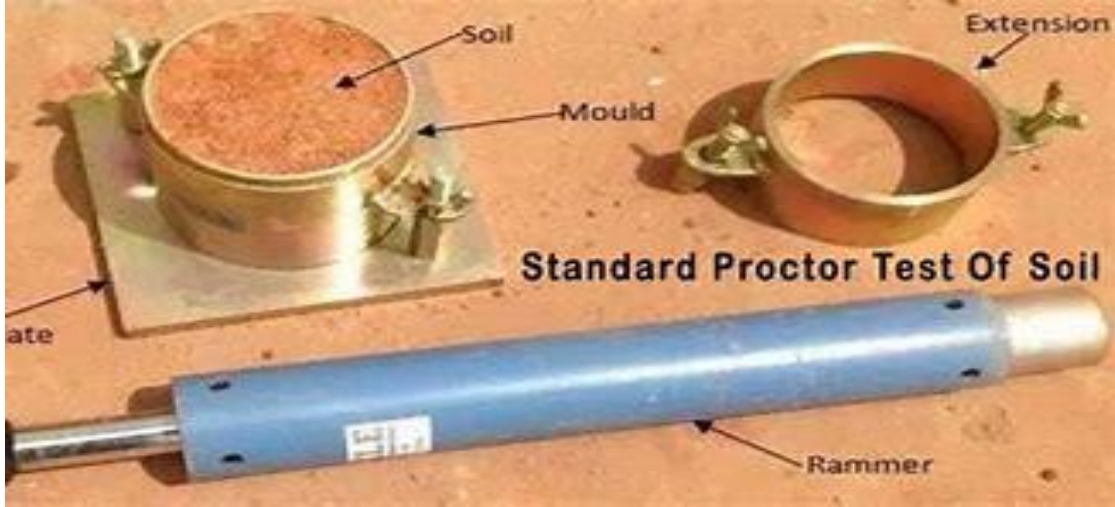


Figure 4.1 मानक प्रॉक्टर टेस्ट (Standard Proctor Test)

(स्रोत: www.constructioncost.co & www.researchgate.net)

1. टेस्ट प्रक्रिया (Equipment Used):

मातीचा नमुना तयार करणे:

- ओव्हनमध्ये मातीचा नमुना सतत वजनात कोरडा आणि 4.75 mm चाळणीतून चाळणी करा.
- वेगवेगळ्या ओलावाच्या सामग्रीवर (सामान्यतः खडबडीत मातीसाठी 8% ते 20% पर्यंत) मातीचे अनेक नमुने तयार करा.

2. कॉम्पॅक्शन प्रक्रिया (Compaction Process) :

- सॉलिड बेसवर साचा ठेवा आणि रिक्त साचा वजन करा.
- मोल्डमध्ये मातीचा एक भाग जोडा (एकूण मातीच्या व्हॉल्यूमच्या सुमारे एक तृतीयांश).
- हातोडीच्या 25 वारांचा वापर करून माती कॉम्पॅक्ट करा, प्रत्येक फटका सातत्यपूर्ण शक्तीने लागू केला जातो.
- मातीच्या उर्वरित भागांसाठी या प्रक्रियेची पुनरावृत्ती करा, प्रत्येकी 25 वारांसह आणखी दोन थरांमध्ये कॉम्पॅक्ट करा.

3. वजन (Weighing):

- कॉम्पॅक्टिंग केल्यानंतर, साचा काढा आणि कॉम्पॅक्ट केलेल्या मातीसह मूसचे वजन करा.
- साच्यातून काळजीपूर्वक माती काढा आणि ओव्हनमध्ये नमुना कोरडे करून त्याची ओलावा सामग्री निश्चित करा.

कोरडे घनता निश्चित करा (Determine Dry Density):

सूत्र वापरून कोरड्या घनतेची (Determine Dry Density) गणना करा:

$$\text{Dry Density} = \frac{\text{Weight of compacted soil}}{\text{Volume of mould}} \times 100$$

4. वेगवेगळ्या ओलावाच्या सामग्रीसाठी पुनरावृत्ती करा:

बऱ्याच वेगवेगळ्या आर्द्रतेसाठी वरील चरणांची पुनरावृत्ती करा आणि कोरडे घनता वि. ओलावा सामग्री कर्व प्लॉट करा.

4.1.4 कॉम्पॅक्शन कर्व (Compaction Curve):

एक कॉम्पॅक्शन कर्व, ज्याला ओलावा-घनता कर्व म्हणून देखील ओळखले जाते, हे मानक प्रॉक्टर टेस्ट (SPT) किंवा सुधारित प्रॉक्टर टेस्ट दरम्यान मातीची कोरडी घनता आणि ओलावा सामग्रीमधील संबंधांचे ग्राफिकल प्रतिनिधित्व आहे. ही कर्व मातीची कॉम्पॅक्शन वैशिष्ट्ये समजून घेण्यासाठी आवश्यक आहे आणि हे इष्टतम ओलावा सामग्री (**optimum moisture content**) निर्धारित करण्यात मदत करते ज्यावर मातीची जास्तीत जास्त कोरडी घनता (**maximum dry density**) प्राप्त होते.

Proctor Curve (Moisture Density Curve)

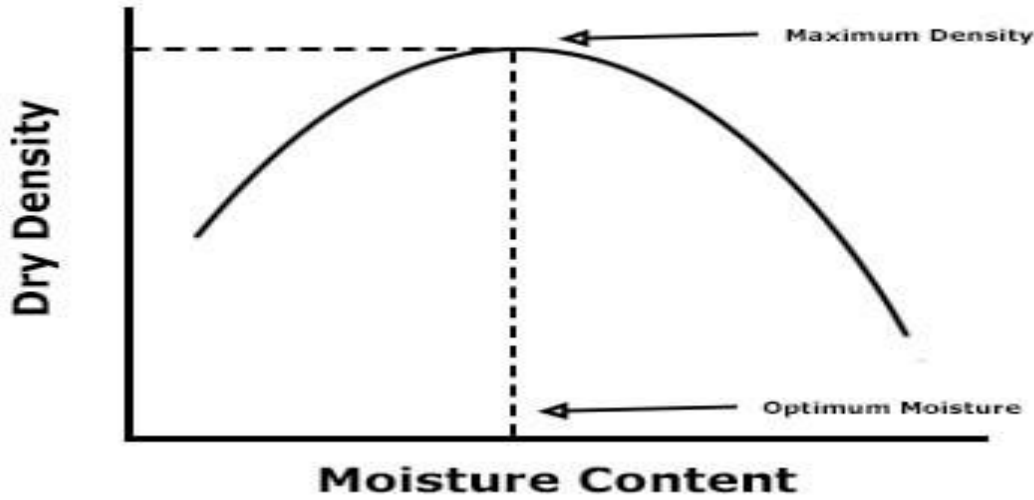


Figure 4.2 कॉम्पॅक्शन कर्व

(स्रोत: www.globalgilson.com)

- **कोरडे घनता (Y Axis) Dry Density:** एकदा ओलावा सामग्री काढून टाकल्यानंतर मातीची घनता दर्शवते (म्हणजे, प्रति युनिट वॉल्यूमच्या मातीचे वजन). सामान्यतः केजी/एमए मध्ये मोजले जाते.
- **ओलावा सामग्री (X Axis) Moisture Content:** मातीच्या नमुन्यात असलेल्या पाण्याचे प्रमाण प्रतिनिधित्व करते, मातीच्या कोरड्या वजनाच्या टक्केवारीच्या रूपात व्यक्त केले जाते. टक्केवारी (%) मध्ये मोजले.
- **जास्तीत जास्त कोरडे घनता (MDD):** हे कॉम्पॅक्शन कर्व वर प्राप्त केलेले सर्वाधिक कोरडे घनता आहे. हे इष्टतम ओलावा सामग्री (ओएमसी) शी संबंधित आहे.
- **इष्टतम आर्द्रता सामग्री (OMC):** ओलावा सामग्री ज्या मातीने जास्तीत जास्त कोरडे घनता प्राप्त केली त्याला इष्टतम ओलावा सामग्री म्हणतात. हा कर्व वरील बिंदू आहे जो वक्रातील सर्वोच्च बिंदूशी संबंधित आहे.

4.1.5 शून्य हवा वॉइड ओळ (The Zero Air Void Line): शून्य एअर वॉइड रेषा कॉम्पॅक्शन कर्वची वरची मर्यादा आहे, जी सर्व हवेच्या वॉईड्स (कोणतेही छिद्र न भरलेले नाही) अशा प्रकारे कॉम्पॅक्ट

केले गेले तर माती प्राप्त करू शकणाऱ्या जास्तीत जास्त कोरड्या घनतेशी संबंधित आहे. ही ओळ पूर्णपणे सैद्धांतिक आहे आणि वास्तविक कॉम्पॅक्शन परिणामांच्या तुलनेत वापरली जाते.

शून्य एअर वॉइड रेषा (Zero Air Void Line) मातीच्या कॉम्पॅक्शनची एक महत्वाची संकल्पना आहे आणि मातीच्या नमुन्यात हवेची जागा नसताना किंवा कोणत्याही हवेची जागा नसताना मातीची सैद्धांतिक जास्तीत जास्त कोरडी घनता दर्शविण्यासाठी वापरली जाते. जेव्हा सर्व छिद्र घन सामग्रीने भरलेले असतात (म्हणजे, 100% कॉम्पॅक्शन) तेव्हा हे मातीच्या कोरड्या घनतेचे प्रतिनिधित्व करते.

शून्य एअर रिक्त ओळ मातीच्या कणांची विशिष्ट गुरुत्व (G_s) आणि ओलावा सामग्री (w) वापरून मोजली जाते. शून्य एअर वॉइड बिंदूवर कोरड्या घनतेची गणना करण्याचे सूत्र आहे:

$$P_d = \frac{G_s \cdot P_w}{1 + W \cdot G_s}$$

येथे

- p_d = शून्य एअर वॉइड बिंदूवर कोरडे घनता (g/cm^3 or kg/m^3)
- G_s = मातीच्या कणांचे विशिष्ट गुरुत्व (Specific gravity)
- p_w = पाण्याची घनता, सामान्यतः 1 gm/cm^3 किंवा 1000 Kg/m^3
- w = ओलावा सामग्री (दशांश स्वरूपात, उदा. $15\% = 0.15$)

4.1.6 सुधारित प्रॉक्टर टेस्ट (Modified Proctor Test)

सुधारित प्रॉक्टर टेस्ट हे जड बांधकाम आणि रस्ता अभियांत्रिकीमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या कॉम्पॅक्शन अटींचे अनुकरण करण्यासाठी डिझाइन केलेल्या मानक प्रॉक्टर टेस्टचे भिन्नता आहे, जेथे अधिक कॉम्पॅक्शन प्रयत्न लागू केले जातात. या टेस्टमध्ये प्रमाणित प्रॉक्टर टेस्टच्या तुलनेत जड हातोडीचा वापर आणि भिन्न कॉम्पॅक्शन प्रक्रिया समाविष्ट आहे, परिणामी मातीसाठी जास्तीत जास्त कोरडे घनता वाढते.

1. सुधारित प्रॉक्टर टेस्टसाठी टेस्ट प्रक्रिया (Test Procedure for the Modified Proctor Test):

- मातीचा नमुना तयार करणे:
- ओव्हनमध्ये मातीचे नमुना कोरडे करा आणि 4.75 मिमी चाळणीद्वारे ते चाळणी करा.

- मातीच्या प्रकारावर आधारित सामान्यतः 8% ते 20% पर्यंत वेगवेगळ्या ओलावाच्या सामग्रीसह अनेक मातीचे नमुने तयार करा.

2. कॉम्पॅक्शन प्रक्रिया:

- मातीचा नमुना मूसमध्ये (1000 cm³ व्हॉल्यूमसह) पाच थरांमध्ये ठेवा.
- 45.7 cm उंचीवरून 4.5 किलो (10 lb) हातोडीमधून 56 वार वापरून प्रत्येक थर कॉम्पॅक्ट करा.
- प्रत्येक थर निर्दिष्ट केलेल्या हॅमरच्या वारांसह एकसमानपणे कॉम्पॅक्ट केला पाहिजे.

कोरडे घनता वजन आणि निर्धारित करणे:

- सर्व थर कॉम्पॅक्ट केल्यानंतर, एकूण वजन निश्चित करण्यासाठी कॉम्पॅक्ट केलेल्या मातीसह मूसचे वजन करा.
- काळजीपूर्वक माती काढा आणि ओव्हनमध्ये कोरडे करून त्याची ओलावा सामग्री निश्चित करा.
- कोरड्या घनतेची गणना करण्यासाठी सूत्र वापरा.

$$\text{Dry Density} = \frac{\text{Weight of compacted soil}}{\text{Volume of mould}} \times 100$$

2. वेगवेगळ्या ओलावा सामग्रीसाठी पुनरावृत्ती करा:

कोरड्या घनता वि. ओलावा सामग्री कर्व प्लॉट करण्यासाठी वेगवेगळ्या ओलावा सामग्री (सामान्यतः 8% ते 20% पर्यंत) साठी टेस्ट पुन्हा करा.

3. कर्व प्लॉट करीत आहे:

- वाय-अक्षावर कोरड्या घनतेची मूल्ये आणि एक्स-अक्षावर ओलावा सामग्रीचा प्लॉट करा.
- इष्टतम ओलावा सामग्री (OMC) वर जास्तीत जास्त कोरडे घनता (MDD) प्राप्त होईल जेथे कर्व एक विशिष्ट बेल-आकाराचे कर्व दर्शवेल.

सुधारित प्रॉक्टर टेस्ट निकाल:

- जास्तीत जास्त कोरडे घनता (एमडीडी): कोरड्या घनता सर्वात जास्त असलेल्या कॉम्पॅक्शन कर्ववरील बिंदू.
- इष्टतम ओलावा सामग्री (OMC): ओलावा सामग्री ज्यावर जास्तीत जास्त कोरडे घनता येते.

सुधारित प्रॉक्टर टेस्टचे परिणाम सामान्यतः वाढीव कॉम्पॅक्शन एनर्जीमुळे प्रमाणित प्रॉक्टर टेस्टमधून प्राप्त झालेल्या तुलनेत सामान्यतः उच्च जास्तीत जास्त कोरडे घनता (**maximum dry density**) आणि कमी इष्टतम आर्द्रता सामग्री (**optimum moisture content**) दर्शविल.

मानक प्रॉक्टर टेस्ट आणि सुधारित प्रॉक्टर टेस्ट दरम्यान तुलना (Comparison between Standard Proctor Test and Modified Proctor Test):

सीरियल	पॅरामीटर	मानक प्रॉक्टर टेस्ट	सुधारित प्रॉक्टर टेस्ट
1	हातोडा वजन	2.6 kg (5.7 lb)	4.5 kg (10 lb)
2	हॅमर ड्रॉप उंची	31.6 cm	45.7 cm
3	थरांची संख्या	3	5
4	प्रति थर वारांची संख्या	25	56
5	जास्तीत जास्त कोरडे घनता	कमी	उच्च
6	इष्टतम ओलावा सामग्री	उच्च	कमी
7	कॉम्पॅक्शन एनर्जी	कमी	उच्च

मातीच्या कॉम्पॅक्शनवर परिणाम करणारे घटक (Factors affecting Compaction of Soil):

कॉम्पॅक्शनवर परिणाम करणारे मुख्य घटक:

- **आर्द्रता सामग्री (Moisture Content):** ओलावा सामग्री म्हणजे मातीमध्ये असलेल्या पाण्याचे प्रमाण, सामान्यतः मातीच्या कोरड्या वजनाच्या टक्केवारीच्या रूपात व्यक्त केले जाते. जर ओलावा सामग्री खूपच कमी असेल तर मातीचे कण पुरेसे वंगण घालत नाहीत, ज्यामुळे कणांना जवळ जाणे कठीण होते. जर ओलावा सामग्री खूप जास्त असेल तर जादा पाणी व्हाईड्स भरते आणि कोरडे घनता कमी करते, मातीच्या कणांचे योग्य पॅकिंग प्रतिबंधित करते.
- **मातीचा प्रकार (Soil Type):** खडबडीत-दाणेदार माती (जसे की वाळू आणि रेव) सामान्यतः कॉम्पॅक्ट करणे सोपे असते कारण त्यांचे मोठे कण अधिक सहजपणे एकत्र पॅक केले जाऊ शकतात. फाइन-दाणेदार माती (चिकणमाती आणि गाळ सारख्या) कॉम्पॅक्ट करण्यासाठी अधिक प्रयत्न करण्याची आवश्यकता असते कारण त्यांच्या छोट्या कणांमध्ये अधिक व्हाईड्स

असतात आणि ते ओलसर सामग्रीसाठी अधिक संवेदनशील असतात. उदाहरणार्थ, चिकणमातीला प्रभावी कॉम्पॅक्शन मिळविण्यासाठी अधिक आर्द्रता आवश्यक आहे, तर खूप ओले असल्यास ते खूप चिकट किंवा कॉम्पॅक्ट करणे कठीण होऊ शकते.

- **कण आकाराचे वितरण** (Particle Size Distribution): मातीमध्ये वेगवेगळ्या आकाराच्या कणांचे वितरण कण आकार वितरण (पीएसडी) असे म्हणतात, ज्यास ग्रेडेशन देखील म्हटले जाते. चांगल्या-दर्जाच्या माती (वेगवेगळ्या कण आकारांच्या मिश्रणासह माती) अधिक चांगले कॉम्पॅक्ट करतात कारण लहान कण मोठ्या कणांमधील व्हॉईडमध्ये भरतात, हवेचे व्हॉईड्स कमी करतात आणि कोरडे घनता सुधारतात.
- **कॉम्पॅक्शन एनर्जी** (Compaction Energy): कॉम्पॅक्शन एनर्जी म्हणजे कॉम्पॅक्शन दरम्यान मातीवर लागू असलेल्या उर्जेचे प्रमाण, बहुतेक वेळा कॉम्पॅक्शन हातोडीच्या वजन आणि प्रॉक्टर चाचण्यांमध्ये (मानक किंवा सुधारित) त्याच्या ड्रॉपच्या उंचीद्वारे निर्धारित केले जाते. कॉम्पॅक्शन उर्जा जितकी जास्त असेल तितके मातीचे कण संकुचित होतात, परिणामी कोरडे घनता जास्त होते.
- **कॉम्पॅक्शन उपकरणांचा प्रकार** (Type of Compaction Equipment): माती कॉम्पॅक्ट करण्यासाठी वापरली जाणारी उपकरणे कॉम्पॅक्शन प्रक्रियेवर लक्षणीय परिणाम करू शकतात. विविध प्रकारचे कॉम्पॅक्शन उपकरणे भिन्न कंपन आणि स्थिर शक्ती प्रदान करतात, जी माती किती चांगल्या प्रकारे कॉम्पॅक्ट केली जाते यावर परिणाम करते.
- **तापमान** (Temperature): मातीचे तापमान मातीमध्ये पाण्याच्या चिकटपणा आणि वर्तनावर परिणाम करते. उच्च तापमान सामान्यतः आर्द्रतेचे बाष्पीभवन दर वाढवते, ज्यामुळे आर्द्रता कमी होऊ शकते, ज्यामुळे कॉम्पॅक्शन कमी प्रभावी होते. कमी तापमानामुळे माती गोठवू शकते, कॉम्पॅक्शन अशक्य किंवा अकार्यक्षम बनते.
- **एअर व्हॉईड्स** (Air Voids): मातीच्या कणांमधील जागा, घन सामग्री किंवा पाण्याने भरलेल्या नसलेल्या, हवा व्हॉईड्स म्हणून संबोधले जाते. कॉम्पॅक्शनचे उद्दीष्ट हे एअर व्हॉईड्स कमीतकमी कमी करणे हे आहे की मातीचे कण एकत्र आणून. उच्च हवेच्या व्हॉईड्स कॉम्पॅक्टेड कोरड्या घनतेमध्ये लक्षणीय घट करू शकतात.
- **मातीची प्लॅस्टिसिटी** (Soil Plasticity): प्लॅस्टिकिटी म्हणजे क्रॅक किंवा ब्रेक न करता मातीची मोल्ड किंवा विकृत करण्याची क्षमता दर्शवते. चिकणमातीसारख्या एकत्रित मातीसाठी हे विशेषतः महत्वाचे आहे. उच्च प्लॅस्टिसिटी (उदा. चिकणमाती) असलेल्या माती प्रभावीपणे कॉम्पॅक्ट करणे अधिक अवघड आहे कारण ते चिकट आणि एकत्रित असतात, ज्यामुळे कण बदलणे कठीण होते.
- **मातीची रचना** (Soil Structure): मातीच्या वस्तुमानात मातीच्या कणांची व्यवस्था किंवा अभिमुखता याला मातीची रचना म्हणतात. दाट, सुसज्ज मॅट्रिक्स (जसे की-ग्रेड केलेले वाळू) असलेली माती सामान्यतः अधिक प्रभावीपणे कॉम्पॅक्ट करेल.
- **वेळ** (Time): ज्या कालावधीवर कॉम्पॅक्शन लागू केला जातो. दीर्घकाळापर्यंत कॉम्पॅक्शन प्रयत्नांमुळे चांगले परिणाम होऊ शकतात, विशेषतः चिकणमाती किंवा सिल्टी मातीसाठी. हे ओलावासाठी अधिक वेळ देते.

4.1.7 कॉम्पॅक्शनची फील्ड पद्धत (Field Method of Compaction):

रोलिंगद्वारे मातीचे कॉम्पॅक्शन (Compaction of soil by rolling):

रोलिंग ही मातीची घनता आणि सामर्थ्य सुधारण्यासाठी सर्वात सामान्यपणे वापरल्या जाणाऱ्या फील्ड पद्धतींपैकी एक आहे. या प्रक्रियेमध्ये मातीच्या पृष्ठभागावर यांत्रिक दबाव आणि/किंवा कंप लागू करण्यासाठी जड रोलर्स किंवा कॉम्पॅक्टिंग मशीन वापरणे समाविष्ट आहे, जे मातीचे कण जवळ एकत्र करण्यास भाग पाडते, हवेची व्हॉईड्स कमी करते आणि मातीची घनता वाढवते. इमारती, फरसबंदी आणि इतर संरचनांसाठी स्थिर पाया सुनिश्चित करण्यासाठी ही पद्धत बांधकाम, रस्ते कामे आणि तटबंदीमध्ये मोठ्या प्रमाणात वापरली जाते.

मातीच्या कॉम्पॅक्शनसाठी वापरल्या जाणाऱ्या रोलर्सचे प्रकार (Types of Rollers used for Soil Compaction)

वेगवेगळ्या प्रकारचे रोलर वेगवेगळ्या मातीचे प्रकार आणि कॉम्पॅक्शन आवश्यकतांसाठी वापरले जातात.

a) **गुळगुळीत-चाकांचे रोलर्स (Smooth-Wheeled Rollers):** हे गुळगुळीत मेटल व्हील्ससह मोठे दंडगोलाकार रोलर आहेत. ते मातीवर स्थिर दबाव (वजन) लागू करतात आणि रोलर पुढे सरकतात तेव्हा त्यास संकुचित करतात. रोलरचे वजन हे कॉम्पॅक्शन फोर्सचे मुख्य स्त्रोत आहे. वाळू, रेव, आणि कुचलेल्या खडकासारख्या ग्रॅन्युलर मातीत कॉम्पॅक्ट करण्यासाठी सर्वोत्तम उपयुक्त आहे, विशेषतः चांगल्या निचरा झालेल्या पृष्ठभागावर.

फायदा: मोठ्या, सपाट क्षेत्रासाठी प्रभावी आणि पृष्ठभागाच्या थर एकत्रित करण्यात चांगले.



Figure 4.3 रोलिंगद्वारे मातीचे कॉम्पॅक्शन (Compaction of Soil by rolling)

(स्रोत: <https://stock.adobe.com/images/soil-compactor-for-leveling-ground-for-foundation-and-on-road-construction-road-compaction-equipment-at-construction-site/1046847254>)

b) व्हायब्रेटरी रोलर्स (Vibratory Rollers): व्हायब्रेटरी रोलर्स एक कंपन करणाऱ्या ड्रमने सुसज्ज आहेत जे रोलरद्वारे वापरल्या जाणाऱ्या दबावात एक कंपन शक्ती जोडते. कंपन मातीचे कण सैल करण्यास मदत करते आणि त्यांना अधिक प्रभावीपणे पुनर्रचना आणि कॉम्पॅक्ट करण्यास अनुमती देते, विशेषतः चिकणमातीसारख्या एकत्रित मातीमध्ये. दोन्ही ग्रॅन्युलर आणि एकत्रित मातीसाठी आदर्श. ते सामान्यतः रस्ते, पाया आणि तटबंदीसाठी सबग्रेडच्या कॉम्पॅक्शनमध्ये वापरले जातात.

फायदा: वजन आणि कंप दोन्हीमुळे कॉम्पॅक्शन कार्यक्षमता वाढली, यामुळे एकत्रित मातीच्या सखोल कॉम्पॅक्शनला परवानगी मिळते.

a) मेंढी फूट रोलर्स (Sheep foot Rollers): या रोलर्समध्ये मेंढराच्या पायाच्या आकारासारखे मोठे, पायांचे पाय किंवा ढीग आहेत. लंगसच्या कुष्ठरोगाच्या क्रियेसह रोलरचे वजन मातीवर दबाव आणते. रोलर पुढे जात असताना पाय मातीमध्ये प्रवेश करतात आणि कॉम्पॅक्ट करतात. प्रामुख्याने एकत्रित माती (चिकणमाती आणि सिल्टी माती सारख्या) आणि ओल्या परिस्थितीत कॉम्पॅक्ट करण्यासाठी वापरले जाते.

फायदा: बारीक-दाणेदार मातीत कॉम्पॅक्शनसाठी आणि खालच्या थरांमध्ये खोल कॉम्पॅक्शन तयार करण्यासाठी प्रभावी.

b) वायवीय-थकलेला रोलर्स (Pneumatic-Tired Rollers): हे रोलर्स मोठ्या रबर टायर्ससह सुसज्ज आहेत जे मातीवर दबाव आणि मर्डींग क्रिया दोन्ही लागू करतात. टायर्स, जे विशिष्ट दाबांना फुगतात, रोलर फिरत असताना मातीवर खाली दाबा. मस्तक प्रभाव मातीला अधिक चांगल्या प्रकारे कॉम्पॅक्ट करण्यास मदत करते. बारीक-दाणेदार माती (सिल्ट्स आणि क्ले सारख्या) कॉम्पॅक्ट करण्यासाठी आणि ग्रॅन्युलर मातीचे थर पूर्ण करण्यासाठी वापरले जाते. ते बऱ्याचदा रस्ता बांधकामात वापरले जातात.

फायदा: एक गुळगुळीत फिनिश प्रदान करते आणि एकत्रित आणि नॉन-एक-एकरूप दोन्ही मातीसाठी वापरली जाऊ शकते.

रॅमिंगद्वारे मातीचे कॉम्पॅक्शन (Soil compaction by ramming):

लहान किंवा मर्यादित भागात माती कॉम्पॅक्ट करण्याची ही एक मॅन्युअल किंवा अर्ध-मेकॅनिकल पद्धत आहे जिथे रोलर्स सारख्या मोठ्या यंत्रसामग्रीचा वापर केला जाऊ शकत नाही. तंत्रात मातीच्या पृष्ठभागावर वारंवार वार किंवा परिणामांद्वारे यांत्रिक उर्जा लागू करणे समाविष्ट आहे. खंदक, लहान तटबंदी किंवा पाया आणि फुटपाथसाठी माती कॉम्पॅक्ट करताना सुस्पष्टता आणि स्थानिकीकृत कॉम्पॅक्शन आवश्यक असलेल्या प्रकल्पांमध्ये रॅमिंग कॉम्पॅक्शन विशेषतः प्रभावी आहे.

रॅमिंग पद्धतीचे प्रकार (Types of Ramming Methods)

a) मॅन्युअल रॅमिंग (Manual Ramming): हे रॅमिंगचा सर्वात मूलभूत प्रकार आहे आणि हाताने चालवलेल्या साधनाने माती व्यक्तिचलितपणे टॅम्पवून केला जातो. हाताच्या छेडछाडीवर (किंवा रॅमर) सामान्यतः हँडलशी जोडलेला सपाट, जड धातूचा बेस (बहुतेकदा 5-10 किलो वजनाचा) असतो. कामगार छेडछाड वाढवतो आणि मातीवर टाकतो, प्रत्येक फटकाशी कॉम्पॅक्ट करतो. प्रभावाची शक्ती मातीच्या कणांना संकुचित करते, हवेमधील अंतर कमी करते आणि घनता वाढवते. मॅन्युअल रॅमिंगचा वापर लहान भाग, पाईप्स किंवा उपयुक्तता आणि खंदक किंवा इतर जागांसाठी केला जातो जेथे मोठ्या यंत्रसामग्री पोहोचू शकत नाहीत.

b) मेकॅनिकल रॅमिंग (Powered Tampers or Plate Compactors): अधिक कार्यक्षम आणि वेगवान कॉम्पॅक्शन, मेकॅनिकल रॅमर किंवा पॉवर टॅम्पर वापरले जातात. या मशीन्स अधिक सुसंगत शक्ती लागू करतात आणि कमी मॅन्युअल श्रम आवश्यक असतात. पॉवर प्लेट कॉम्पॅक्टर (बहुतेकदा "रॅमर" किंवा "व्हायब्रेटिंग प्लेट कॉम्पॅक्टर" म्हणून ओळखले जाते) सामान्यतः वापरले जाते. या मशीनमध्ये एक सपाट प्लेट किंवा पॅड आहे जे कंपित करते, मातीच्या कणांना अधिक प्रभावीपणे पुनर्रचना करण्यास आणि कॉम्पॅक्ट करण्यास मदत करते. कॉम्पॅक्टर किंवा रॅमरमध्ये एक कंपन किंवा प्रभाव-आधारित यंत्रणा आहे जी मातीला डेन्सर अवस्थेत भाग पाडते. कंपने किंवा प्रभाव मातीमध्ये हवा आणि ओलावा विस्थापित करण्यास मदत करतात आणि त्यास अधिक घट्टपणे पॅक करतात. ही मशीन्स सामान्यतः लहान ते मध्यम आकाराच्या भागात वापरली जातात जिथे उच्च प्रमाणात कॉम्पॅक्शन आवश्यक असते. ते दाणेदार माती आणि एकत्रित मातीच्या पातळ थरांसाठी उपयुक्त आहेत.

3) कंपने मातीचे कॉम्पॅक्शन (Soil compaction by Vibration):

कंपनेद्वारे मातीचे कॉम्पॅक्शन ही माती कॉम्पॅक्ट करण्यासाठी सर्वात प्रभावी आणि व्यापकपणे वापरल्या जाणाऱ्या पद्धतींपैकी एक आहे, विशेषतः दाणेदार आणि एकत्रित मातीमध्ये. प्रक्रियेमध्ये मातीमध्ये कंपने तयार करण्यासाठी कंपित उपकरणे वापरणे समाविष्ट आहे, ज्यामुळे मातीचे कण पुन्हा व्यवस्थित करतात आणि डेन्सर कॉन्फिगरेशनमध्ये स्थिरावतात. ही पद्धत विशेषतः मातीची घनता वाढविण्यासाठी, त्याची लोड-बेअरिंग क्षमता सुधारण्यासाठी आणि वेळोवेळी सेटलमेंट कमी करण्यासाठी उपयुक्त आहे.

कंपनेद्वारे कॉम्पॅक्शनमागील तत्त्व सोपे आहे: कंपने मातीच्या कणांमधील घर्षण कमी करण्यास मदत करतात, ज्यामुळे ते हलतात आणि घट्ट व्यवस्थेत स्थायिक होऊ शकतात. या प्रक्रियेमुळे मातीमध्ये हवेचे व्हॉईड्स आणि ओलावा कमी होतो आणि त्याची घनता वाढते.

१. कंपने (Vibrations): कंपिंग उपकरणे मातीमध्ये प्रसारित होणाऱ्या वेगवान दोलन निर्माण करतात. या कंपने कणांना किंचित हलविण्यास कारणीभूत ठरतात, ज्यामुळे त्यांना पुन्हा व्यवस्थित करणे आणि अधिक घट्टपणे पॅक करता येते.

२. ऊर्जा हस्तांतरण (Energy Transfer): कंपॅक्शन उपकरण (रोलर किंवा प्लेट सारख्या) च्या थेट संपर्काद्वारे व्हायब्रेटरी ऊर्जा मातीमध्ये हस्तांतरित केली जाते. ऊर्जा कोणत्याही सैल कण बंधन तोडण्यास मदत करते आणि मातीच्या कणांना डेन्सर स्ट्रक्चरमध्ये भाग पाडते.

4.1.8 कन्सालिडेशन संकल्पना (Concept of Consolidation):

कन्सालिडेशन हळूहळू प्रक्रियेचा संदर्भ देते ज्याद्वारे लोड किंवा दबावाच्या प्रभावाखाली संतृप्त माती कालांतराने प्रमाणात कमी होते. हे मातीपासून छिद्र पाण्याला हद्दपार केल्यामुळे होते, प्रामुख्याने क्ले सारख्या बारीक-दाणेदार मातीमध्ये, ज्यात तुलनेने कमी पारगम्यता असते. मातीत सेटलमेंट वर्तन समजून घेण्यासाठी कन्सालिडेशन आवश्यक आहे आणि पाया डिझाइन आणि संरचनांच्या कामगिरीमध्ये एक महत्त्वपूर्ण विचार आहे.

कन्सालिडेशन प्रकार (Types of Consolidation):

प्राथमिक कन्सालिडेशन (Primary Consolidation): जेव्हा छिद्र पाण्याचे सतत ओझेखाली बाहेर काढले जाते तेव्हा मातीचे प्रारंभिक, हळू कॉम्प्रेसन. मातीच्या पारगम्यतेवर आणि लोडच्या विशालतेवर अवलंबून या प्रक्रियेस दिवस, महिने किंवा वर्षे देखील लागू शकतात.

दुय्यम कन्सालिडेशन (Secondary Consolidation): प्राथमिक कन्सालिडेशन मोठ्या प्रमाणात उद्भवल्यानंतर, मातीचे कण नवीन लोडशी समायोजित केल्यामुळे माती हळूहळू संकुचित होऊ शकते. हे दुय्यम कॉम्प्रेसन हळू आहे परंतु तरीही दीर्घकालीन सेटलमेंट वर्तनवर परिणाम करू शकतो.

कॉम्पॅक्शन आणि कन्सालिडेशन मधील फरक (Difference between compaction and consolidation):

सीरियल	वैशिष्ट्ये	कॉम्पॅक्शन (Compaction)	कन्सालिडेशन (Consolidation)
1	व्याख्या	यांत्रिक माध्यमांद्वारे हवा काढून मातीचे प्रमाण कमी करण्याची प्रक्रिया.	छिद्र पाण्याच्या हद्दपारीमुळे मातीच्या प्रमाणात कपात करण्याची प्रक्रिया.

2	यंत्रणा	यांत्रिकी शक्ती (उदा. रोलर्स, व्हायब्रेटरी प्लेट्स) मातीच्या कणांना एकत्र करते.	छिद्र पाणी दबावाखाली काढून टाकले जाते, ज्यामुळे मातीचे कण संकुचित होते.
3	मातीचा प्रकार	असंतृप्त किंवा किंचित ओलसर माती (उदा. वाळू, रेव).	संतृप्त माती, सामान्यतः बारीक-दाणेदार (उदा. चिकणमाती, गाळ).
4	कालावधी	वेगवान प्रक्रिया, तास किंवा दिवसात पूर्ण झाली.	हळू प्रक्रिया, महिने किंवा वर्षे लागतात.
5	घटक	ओलावा सामग्री, उपकरणे प्रकार, पासची संख्या.	मातीचा प्रकार, लोड लागू, मातीची पारगम्यता, मातीच्या थराची जाडी.
6	मुख्य अनुप्रयोग	रस्ता बांधकाम, तटबंदी, अर्थवर्क, पाया.	पाया, जमीन पुनर्प्राप्ती, तटबंदी बांधकाम आणि मोठ्या पायाभूत सुविधा.
7	वेळ अवलंबन	वेळ-स्वतंत्र; त्वरित प्रभावी.	वेळ-आधारित; पूर्ण पूर्ण होण्यास बराच वेळ लागतो.

२. माती स्थिरीकरणाची संकल्पना (Concept of Soil Stabilization):

माती स्थिरीकरण हे एक रासायनिक, भौतिक, यांत्रिक किंवा एकत्रित तंत्र आहे जे अभियांत्रिकीची उद्दीष्टे साध्य करण्यासाठी कमकुवत मातीची स्थिरता राखते किंवा सुधारते.

माती स्थिरीकरण ही एक प्रक्रिया आहे ज्याद्वारे मातीच्या भौतिक गुणधर्मांचे रूपांतर बांधकाम करण्यापूर्वी कायमस्वरूपी ताकदीचे नफा मिळते.

4.2.1 माती स्थिरीकरण आवश्यक आहे (Soil stabilization is essential):

1. **लोड-बेअरिंग क्षमता वाढली (Increased Load-Bearing Capacity):** स्थिरता माती स्थिर होण्यास मदत करते जड भार सहन करण्याची क्षमता वाढवते. हे सुनिश्चित करते की रस्ते, इमारती आणि फरसबंदी यासारख्या संरचना स्थिर राहतात आणि कमकुवत मातीमुळे वेळोवेळी तोडगा किंवा बुडत नाहीत.

2. **सुधारित टिकाऊपणा (Improved Durability) :** स्थिर माती हवामान, धूप आणि पाण्याच्या घुसखोरीस अधिक प्रतिरोधक आहे. हे वेगवेगळ्या पर्यावरणीय परिस्थितीत अधिक टिकाऊ बनवते, विशेषतः चढ -उतार असलेल्या ओलावा पातळी असलेल्या भागात.
3. **संकोचन आणि सूज यांचे नियंत्रण (Control of Shrinkage and Swelling):** काही माती, जसे की विस्तृत क्लेसारख्या कोरड्या आणि ओले असताना सूज येताना संकुचित होण्यास प्रवृत्त होते. स्थिरीकरण हे हानिकारक प्रभाव कमी करण्यास मदत करते, पाया आणि रस्त्यांमधील क्रॅक प्रतिबंधित करते.
4. **वर्धित मातीचे कॉम्पॅक्शन (Enhanced Soil Compaction):** स्थिरतेची संभाव्यता कमी करून स्थिर माती अधिक सहजपणे कॉम्पॅक्ट केली जाऊ शकते. कॉम्पॅक्शनमुळे मातीची घनता सुधारते, जी संरचनेसाठी महत्त्वपूर्ण आहे.
5. **खर्च-प्रभावी समाधान (Cost-Effective Solution):** साइटवर माती स्थिर करून, नवीन सामग्री आयात करणे आणि घालणे यापेक्षा अधिक किफायतशीर असू शकते. स्थिरीकरण तंत्र स्थानिक सामग्रीचा वापर करू शकते, बांधकाम खर्च कमी करते.
6. **धूप रोखणे (Prevention of Erosion) :** वारा आणि पाण्यामुळे होणा इरोशनला स्थिर माती अधिक प्रतिरोधक आहे, जे सैल किंवा वालुकामय माती असलेल्या भागात विशेषतः महत्वाचे आहे.
7. **कार्यक्षमतेत सुधारणा:** माती स्थिरीकरण मातीसह कार्य करणे सुलभ करते, त्याची सुसंगतता सुधारते आणि रस्त्यावर बांधकामासारख्या बांधकाम प्रक्रियेत चांगले परिणाम सुनिश्चित करते.
8. **देखभाल कमी करणे:** स्थिर माती क्रॅकिंग, रूटिंग आणि शिफ्टिंग कमी करून रस्ते आणि फुटपाथची दीर्घकालीन देखभाल आवश्यकता कमी करते, ज्यामुळे वेळोवेळी खर्च बचत होते.

4.3 कॅलिफोर्निया बेअरिंग रेशो (CALIFORNIA BEARING RATIO):

कॅलिफोर्निया बेअरिंग रेशियो (CBR) मातीच्या सामग्रीच्या सामर्थ्याचे एक उपाय आहे, जे प्रामुख्याने रोड फरसबंदी आणि एअरस्ट्रीप्सच्या डिझाइनमध्ये वापरले जाते. ही एक अनुभवजन्य टेस्ट आहे जी प्रमाणित पिस्टनद्वारे मातीच्या प्रवेशाच्या प्रतिकाराचे मूल्यांकन करते, जे वाहनांद्वारे जमिनीवर लागू असलेल्या भाराचे अनुकरण करते. रहदारीच्या भारांच्या ताणतणावाखाली माती किती चांगली कामगिरी करेल हे ठरवण्यासाठी सीबीआर मूल्य महत्त्वपूर्ण आहे.

4.3.1 सी.बी.आर टेस्ट (C.B.R test)

सीबीआर टेस्टची प्रक्रिया

1. मातीच्या नमुन्याची तयारी (Preparation of Soil Sample)

- मातीची निवड: ज्या ठिकाणी त्याची टेस्ट केली जाईल त्या ठिकाणी मातीचे प्रतिनिधित्व करण्यासाठी नमुना तयार केला पाहिजे.
- कॉम्पॅक्शन: मानक प्रक्रिया (बहुतेकदा मानक प्रॉक्टर किंवा सुधारित प्रॉक्टर कॉम्पॅक्शन) वापरून विशिष्ट ओलावाच्या सामग्रीवर माती सामान्यतः साच्यात कॉम्पॅक्ट केली जाते.
- नमुना परिमाण: 152 mm व्यासाचा साचा सामान्यतः टेस्टसाठी वापरला जातो आणि मातीच्या थराची खोली सामान्यतः 127 mm असते.
- Soaking of Soil (Optional)
- काही प्रकरणांमध्ये, ओल्या परिस्थितीच्या परिणामाचे अनुकरण करण्यासाठी टेस्ट घेण्यापूर्वी माती 4 दिवस पाण्यात भिजली जाते, जी क्ले सारख्या ओलावाच्या बदलांना संवेदनशील असलेल्या मातीसाठी विशेषतः महत्त्वपूर्ण आहे.

2. प्रवेश टेस्ट (Soaking of Soil)

- एक प्रवेश पिस्टन (सामान्यतः 1.27mm व्यासाचा) कॉम्पॅक्ट केलेल्या मातीमध्ये आत प्रवेश करण्याच्या स्थिर दराने दाबला जातो.
- विशिष्ट खोलीवर मातीमध्ये प्रवेश करण्यासाठी आवश्यक असलेले भार (बहुतेकदा 2.5 mm आणि 5mm प्रवेशद्वार) नोंदवले जाते.
- प्रवेशाची खोली सहसा 2.5 mm आणि 5.0 mm वाढीवर मोजली जाते.

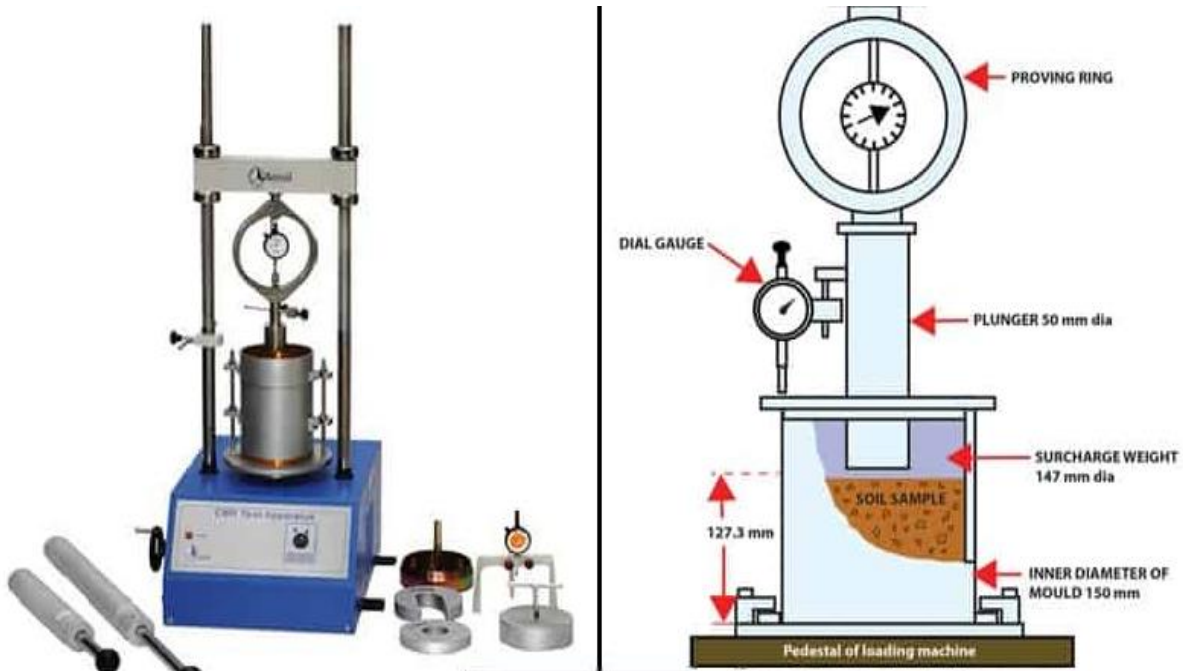


Figure 4.4 सी.बी.आर टेस्ट (C.B.R test)

(स्रोत: dailycivil.com)

3. लोड मोजमाप (Load Measurements)

टेस्ट 2.5mm आणि 5 mm प्रवेशाच्या पातळीवर भार मोजते. मानक चिरडलेल्या दगडासाठी आवश्यक असलेले भार (जे संदर्भ सामग्री म्हणून वापरले जाते) देखील लक्षात घेतले जाते.

लोड आणि खोलीच्या डेटाच्या आधारे एक प्रवेश कर्व रचला जातो.

4. सीबीआर मूल्याची गणना (Calculation of CBR Value)

- सीबीआरची गणना मातीच्या आत प्रवेश करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या लोडची तुलना करून प्रमाणित चिरडलेल्या दगडासाठी आवश्यक असलेल्या लोडशी तुलना केली जाते.

सूत्र:

$$\text{C.B.R.} = \frac{\text{Load for soil penetration}}{\text{Load for standard penetration}} \times 100$$

2.5 mm आणि 5.0 mm प्रवेशावरील कुचलेल्या दगड (संदर्भ सामग्री) साठी मानक भार अनुक्रमे 1370 किलो आणि 2055 किलो असतात.

5. व्याख्या (Interpretation)

परिणामी सीबीआर मूल्य मातीच्या सामर्थ्याचे आणि रस्त्याच्या बांधकामासाठी योग्यतेचे सूचक आहे. उच्च सीबीआर मूल्ये अधिक मजबूत, अधिक स्थिर माती दर्शवितात जी जड रहदारीच्या भारांना समर्थन देऊ शकतात, तर कमी मूल्ये कमकुवत माती सूचित करतात ज्यांना स्थिरीकरण किंवा मजबुतीकरणाची आवश्यकता असू शकते.

4.3.2 सीबीआर मूल्यांचे स्पष्टीकरण (Interpretation of CBR Values):

- 0-5: खूप मऊ माती, सामान्यतः बांधकामासाठी अयोग्य.
- 5-10: कमकुवत माती, महत्त्वपूर्ण सुधारणांची आवश्यकता असू शकते.
- 10-20: मध्यम मातीची शक्ती, फिकट फरसबंदीसाठी योग्य.
- 20-40: वाजवी सामर्थ्य, बहुतेक फरसबंदी डिझाइनसाठी स्वीकार्य.
- 40 च्या वर: मजबूत माती, भारी रहदारी हाताळू शकते.

4.4 मातीचा दाब (Earth pressure):

4.4.1 मातीच्या दाबाची व्याख्या (Definition of Earth Pressure):

मातीचा दबाव म्हणजे माती किंवा खडकांद्वारे तयार केलेल्या ताकदीचा संदर्भ आहे जसे की भिंती टिकवून ठेवणे, पाया, पाया इत्यादी वस्तूंचे वजन आणि संरचनेशी संवाद साधणे. हा दबाव ओव्हरलाइंग मातीच्या वजनामुळे आणि मातीच्या वागणुकीवर परिणाम करणारे इतर कोणत्याही घटकांमुळे होते, जसे की पाण्याचे प्रमाण, मातीचे कॉम्पॅक्शन आणि बाह्य भार.

4.4.2 विश्रांतीच्या वेळी पार्श्वभूमीच्या मातीचा दाब (Lateral earth pressure at rest):

उर्वरित बाजूकडील मातीचा दबाव म्हणजे एखाद्या संरचनेवर मातीद्वारे वापरल्या जाणाऱ्या क्षेत्राज दबावाचा संदर्भ असतो, जसे की भिंतीची हालचाल होत नाही (म्हणजे, भिंत स्थिर राहते आणि बाहेरील किंवा अंतर्भागात जात नाही). या स्थितीत, भिंतीच्या मागे माती अशा स्थितीत आहे जिथे मातीचे कण विस्तारत किंवा संकुचित होत नाहीत आणि बाजूकडील दबाव कोणतीही हालचाल होण्यापूर्वी त्याच्या जास्तीत जास्त किंमतीवर आहे.

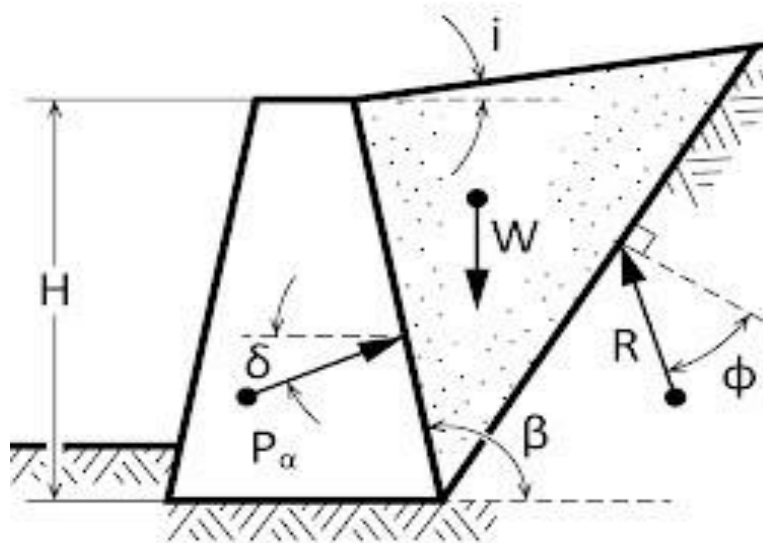


Figure 4.5 बाजूकडील माती दबाव (Lateral earth pressure at rest)

(स्रोत: Munfali.com)

The lateral earth pressure at rest P_0 is calculated using the at-rest earth pressure coefficient K_0 . The general equation is:

$$P_0 = K_0 \cdot \gamma \cdot H$$

येथे:

P_0 = उर्वरित पार्श्व मातीचा दबाव (भिंतीच्या प्रति युनिट लांबी)

K_0 = विश्रांती मातीचा दबाव गुणांक

γ = मातीचे युनिट वजन

H = भिंतीची उंची

या प्रकारचे मातीचे दाब सामान्यतः सक्रिय मातीच्या दाबापेक्षा जास्त असते परंतु निष्क्रिय मातीच्या दाबापेक्षा कमी असते.

4.4.3 सक्रिय मातीचा दाब (Active earth pressure):

सक्रिय मातीचा दाब मातीच्या वस्तुमानातून (किंवा बाहेरील बाजूस शिफ्ट) सरकतो तेव्हा राखीव रचनेवर मातीद्वारे वापरल्या जाणाऱ्या बाजूकडील दाबाचा संदर्भ देते. या चळवळीमुळे माती अशा स्थितीत पोहोचते जिथे ती यापुढे पूर्णपणे कम्प्रेसनमध्ये नसते आणि मातीचे कण अपयशी विमानात सरकण्यास किंवा "अपयशी" होऊ लागतात. परिणामी, मातीद्वारे वापरलेला दबाव कमी होतो आणि कमी मूल्यावर स्थिर होतो, ज्याला सक्रिय दबाव म्हणून ओळखले जाते.

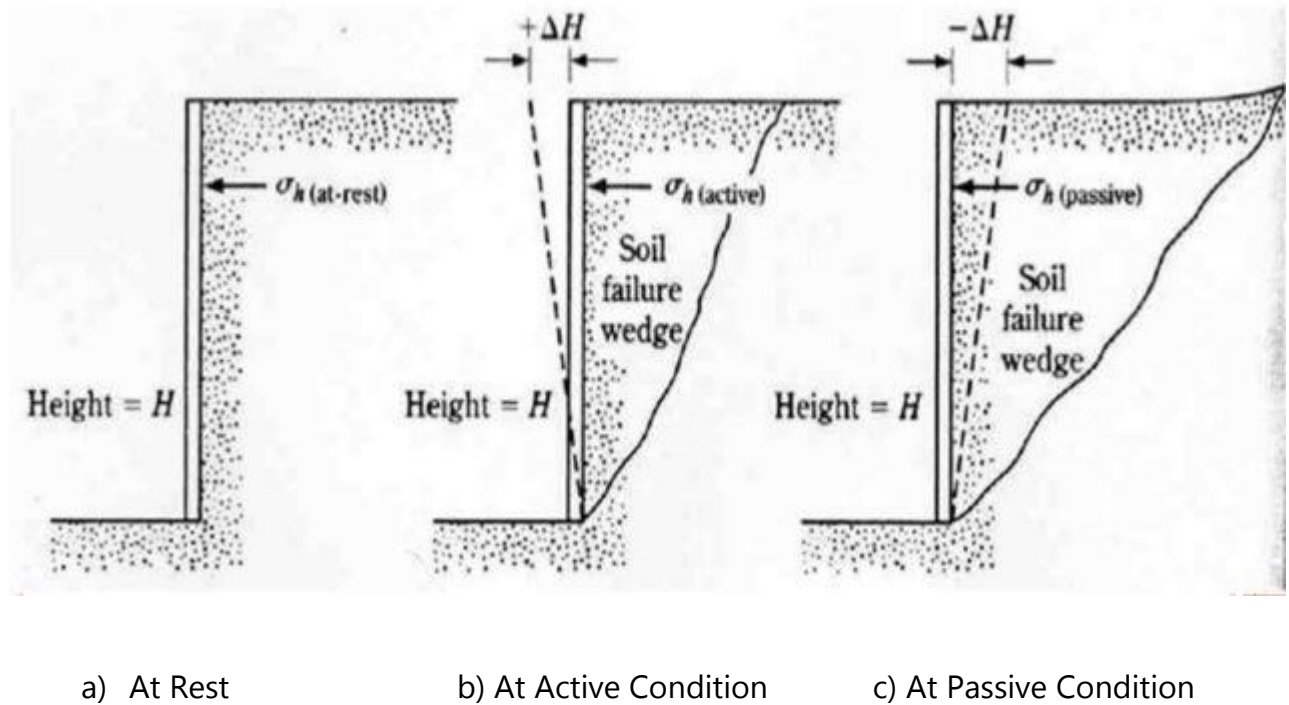


Figure 4.6 मातीचा दबाव (Earth Pressure)

(स्रोत: Mungfali.com)

4.4.4 निष्क्रिय मातीचा दाब (Passive earth pressure):

निष्क्रिय मातीचा दाब म्हणजे जेव्हा संरचनेच्या आतल्या बाजूस सरकते (किंवा मातीमध्ये ढकलले जाते) जेव्हा मातीने राखून ठेवलेल्या रचनेवर मातीद्वारे वापरल्या जाणाऱ्या बाजूकडील दाब होय. सक्रिय मातीच्या दाबाच्या विपरीत, जेव्हा एखादी भिंत मातीपासून दूर सरकते तेव्हा उद्भवते, जेव्हा भिंत फिरते किंवा मातीच्या दिशेने ढकलली जाते तेव्हा निष्क्रिय मातीचा दाब विकसित होतो.

4.4.5 मातीच्या दबावाचे गुणांक (Coefficient of earth pressure):

मातीच्या दाबाचे गुणांक हे एक आयामहीन मूल्य आहे जे मातीद्वारे उभ्या दाबासाठी मातीद्वारे वापरल्या जाणाऱ्या पार्श्व मातीच्या दाबाचे प्रमाण दर्शवते. मातीशी संवाद साधणाऱ्या भिंती किंवा इतर संरचना टिकवून ठेवण्यावर कार्य करणाऱ्या मातीच्या दाबाची तीव्रता निश्चित करणे महत्त्वपूर्ण आहे. मातीच्या दाबाचे दोन प्राथमिक गुणांक आहेत: सक्रिय आणि निष्क्रिय.

i) सक्रिय मातीचा दबाव गुणांक (Active Earth Pressure Coefficient) (K_a):

ही गुणांक मातीच्या उभ्या दाबाच्या सक्रिय मातीच्या दाबाचे प्रमाण दर्शवते जेव्हा माती बाहेरील बाजूस सरकते तेव्हा मातीचा विस्तार करण्यास किंवा "अपयशी" करण्याची परवानगी दिली जाते.

सक्रिय मातीचा दबाव गुणांक (केए) सूत्राद्वारे दिला जातो:

$$K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

येथे, ϕ मातीच्या अंतर्गत घर्षणाचा कोन आहे.

ii) निष्क्रिय मातीचा दबाव गुणांक (Passive Earth Pressure Coefficient) (K_p):

जेव्हा माती आतल्या बाजूने फिरत असताना माती संकुचित केली जाते तेव्हा हे गुणांक उभ्या दाबाच्या निष्क्रिय मातीच्या दाबाचे प्रमाण दर्शवितो.

निष्क्रिय मातीचा दबाव गुणांक केपी सूत्राद्वारे दिला जातो:

$$K_p = \tan^2 (45^\circ + \phi/2)$$

येथे:

- ϕ मातीच्या अंतर्गत घर्षणाचा कोन आहे.

4.4.6 रँकिन सिद्धांत आणि त्याचा अनुप्रयोग (Rankine theory and its application):

मातीच्या दाबाचा रँकिन सिद्धांत भौगोलिक तंत्रज्ञानाचा मूलभूत सिद्धांत आहे जो आसपासच्या मातीद्वारे संरचनेवर (जसे की राखून ठेवणारी भिंत किंवा पाया) पार्श्व मातीचा दाब निश्चित करण्यासाठी वापरला जातो. सिद्धांत सक्रिय आणि निष्क्रिय मातीच्या दबावांवर लागू आहे.

1. सक्रिय मातीचा दबाव (रँकिनचा सक्रिय मातीचा दबाव) (Rankine's Active Earth Pressure)

जेव्हा मातीचा विस्तार करण्यास किंवा भिंतीपासून दूर जाण्याची परवानगी दिली जाते तेव्हा हे उद्भवते. भिंत बाहेरून (मातीपासून दूर) सरकते, ज्यामुळे मातीपासून दबाव कमी होतो.

सक्रिय मातीच्या दाबाचे सूत्र:

$$P_a = 1/2 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_a$$

येथे:

P_a = सक्रिय मातीचा दबाव

γ = मातीचे युनिट वजन

H = भिंतीची उंची

K_a = सक्रिय मातीचा दबाव गुणांक.

2. निष्क्रिय मातीचा दबाव (रँकिनचा निष्क्रिय मातीचा दबाव) (Rankine's Passive Earth Pressure)

जेव्हा माती कॉम्प्रेस केली जाते किंवा भिंतीच्या विरुद्ध ढकलली जाते तेव्हा हे उद्भवते. भिंत आतून (मातीच्या दिशेने) सरकते आणि माती या हालचालीचा प्रतिकार करते.

निष्क्रिय मातीच्या दाबाचे सूत्र:

$$P_p = 1/2 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p$$

येथे:

P_p = निष्क्रिय मातीचा दबाव

γ = मातीचे युनिट वजन

H = भिंतीची उंची

K_p = निष्क्रिय मातीचा दबाव गुणांक

रॅकिनच्या मातीच्या दाबाच्या सिद्धांताची धारणा (Assumption of Rankine's Theory of earth pressure):

1. भिंत उभ्या आणि घर्षणविरहित असल्याचे गृहित धरले जाते.
2. माती एकसंध आहे आणि एकसंध कमी आहे.
3. भिंत पुरेसे हलते जेणेकरून माती त्याच्या अपयशाच्या स्थितीत (सक्रिय किंवा निष्क्रिय) पोहोचते.
4. भिंतीच्या मागे बॅकफिल पृष्ठभाग पातळी (क्षैतिज) आहे.
5. मातीवर कोणताही अधिभार लोड लागू केला जात नाही (म्हणजे, अतिरिक्त बाह्य लोड नाही).
6. अंतर्गत घर्षणाचा कोन मातीच्या वस्तुमानातील सर्व बिंदूंवर समान आहे.

महत्वाचे प्रश्न

दोन गुणांचे प्रश्न

1. Define California Bearing Ratio (C.B.R.).
2. State the necessity of stabilisation.
3. State any four field situations where compaction is required.
4. State Terzaghi's equation of bearing capacity analysis.
5. Define OMC and MDD.

चार गुणांचे प्रश्न

1. Explain standard proctor test to determine MDD and OMC of soil.
2. State the assumption made in Rankine Theory of earth pressure.
3. Differentiate between active earth pressure and passive earth pressure.
4. State assumptions made in Terzaghi's bearing capacity analysis.
5. State necessity of compaction.

सहा गुणांचे प्रश्न

1. The following observations were made using standard proctor test on soil sample. Determine OMC and MDD.

Bulk density gm/cc	1.65	1.95	2.1	2.2	2.15	2.05
Water Content %	5	10	16	22	25	30

2. Explain the procedure of CBR Test.
3. Differentiate between compaction and consolidation of soil.
4. Explain various methods of field compaction.
5. Explain concept of earth pressure and its types with sketch.

युनिट 5. साइट तपासणी आणि मातीची क्षमता

(Site Investigation and Bearing Capacity of Soil)

विषय निष्पत्ति (Course Outcome)

दिलेल्या मातीच्या स्तराची बेअरिंग क्षमता निश्चित करण्यासाठी संबंधित माती तपासणी तंत्र हाती घ्या

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes)

TLO 5.1: मातीच्या स्तराचे मूल्यांकन करण्यासाठी संबंधित अन्वेषण तंत्र हाती घ्या.

TLO 5.2: दिलेल्या मातीच्या नमुन्यासाठी संबंधित डेटा वापरून मातीची बेअरिंग क्षमता निश्चित करा.

TLO 5.3: दिलेल्या स्तरासाठी मातीची बेअरिंग क्षमता निश्चित करण्यासाठी फील्ड टेस्टची आवश्यकता समायोजित करा.

5.1 साइट तपासणी (SITE INVESTIGATION)

5.1.1 संकुचनाची संकल्पना (Concept of Compaction):

साइट तपासणी म्हणजे बांधकाम स्थळी पृष्ठभागाखालील मातीचे आणि इतर पदार्थांचे भौतिक गुणधर्म (physical properties) संकलित आणि विश्लेषित करण्याची प्रक्रिया. भूमीची स्थिती (ground condition) मूल्यांकन करणे आणि पायाभूत सुविधा आणि इतर रचनांच्या डिझाइनसाठी आवश्यक माहिती प्रदान करणे अत्यंत महत्वाचे आहे. योग्य साइट तपासणी संभाव्य धोके ओळखण्यात, खर्च कमी करण्यात आणि बांधकामाची सुरक्षा आणि स्थिरता सुनिश्चित करण्यात मदत करते.

5.1.2 साइट तपासणी आणि सब-सॉइल एक्सप्लोरेशनची आवश्यकता (Necessity of site investigation and sub-soil exploration):

साइट तपासणी आणि उप-मातीचे अन्वेषण कोणत्याही बांधकाम प्रकल्पासाठी नियोजन आणि डिझाइन प्रक्रियेचे गंभीर घटक आहेत. ते का आवश्यक आहेत ते येथे आहे:

1. मातीची परिस्थिती समजून घेणे (Understanding Soil Conditions):

- **लोड-बेअरिंग क्षमता (Load-bearing Capacity):** साइट तपासणीमुळे मातीची शक्ती आणि स्थिरता निश्चित करण्यात मदत होते, जे पायासाठी लोड-बेअरिंग क्षमतेची गणना करण्यासाठी आवश्यक आहे. मातीचा प्रकार (उदा. चिकणमाती, वाळू, खडक) आणि त्याची कॉम्पॅक्शन किंवा सेटलमेंट संभाव्यता जड रचना किती असू शकते हे मार्गदर्शन करेल.
- **ग्राउंडवॉटर पातळी (Groundwater Levels):** उप-मातीच्या अन्वेषणात पाण्याच्या टेबलच्या खोलीचे मूल्यांकन केले जाते, ज्यामुळे पाया प्रकार आणि पूर, ओलावा नुकसान किंवा भूजल सीपेजचा धोका आहे.

2. सुरक्षा आणि संरचनात्मक अखंडता (Safety and Structural Integrity):

- **सेटलमेंट समस्या रोखणे (Preventing Settlement Issues):** मातीची योग्य चाचणी न घेता, एक धोका आहे की जमीन बदलू शकते, ज्यामुळे इमारत असमान स्थायिक होणे किंवा क्रॅक होऊ शकते. तपासणीमुळे हे सुनिश्चित करण्यात मदत होते की विस्तृत माती, मऊ ग्राउंड किंवा असमान थर यासारख्या कोणत्याही समस्या लवकर ओळखल्या जातात.
 - **संरचनात्मक अपयश टाळणे (Avoiding Structural Failures):** मातीची योग्य तपासणी न केल्यास जमीन स्थलांतरित होण्याचा धोका असतो, ज्यामुळे इमारत असमान स्थायिक किंवा क्रॅक होऊ शकते. विस्तृत माती, मऊ जमीन किंवा असमान थर यासारख्या कोणत्याही समस्या लवकर ओळखल्या जातात याची खात्री करण्यास तपासणीमदत करते.
- 3. खर्चाची कार्यक्षमता (Cost Efficiency):**
- **ऑप्टिमाइज्ड डिझाइन (Optimized Design):** अचूक साइट डेटा सर्वात योग्य पाया डिझाइन निवडण्यासाठी मदत करतो, ज्यामुळे अनावश्यक खर्च कमी होऊ शकतात (उदा., जास्त खोल पाया किंवा अतिरिक्त मजबूतपणा).
 - **धोके कमी करणे (Minimizing Risks):** योग्य तपासणी बांधकाम सुरू होण्यापूर्वी संभाव्य अडचणी ओळखण्यात मदत करते. यामुळे प्रकल्पाच्या दरम्यान महागड्या दुरुस्त्या, पुन्हा डिझाइन किंवा विलंब होण्याची शक्यता कमी होते.
- 4. नियमांशी अनुरूपता (Compliance with Regulations):**
- सुरक्षिततेच्या मानकांची पूर्तता केली जाते हे सुनिश्चित करण्यासाठी बर्याच बिल्डिंग कोड आणि नियमांमध्ये साइट तपासणी आणि माती परीक्षण आवश्यक आहे. हे प्रस्तावित बांधकाम स्थानिक इमारत कायदे आणि पर्यावरणीय नियमांचे पालन करते की नाही याची खात्री करण्यास मदत करते.
- 5. पर्यावरणीय घटकांची ओळख (Identifying Environmental Factors):**
- साइट तपासण्या कोणतेही पर्यावरणीय धोके जसे की प्रदूषण, विषारी माती, किंवा आसपासचे धोके (उदा., भूकंपीय क्रियावली, पूर क्षेत्रे) मूल्यांकन करतात. हे ज्ञान डिझाइनवर प्रभाव टाकू शकते किंवा माती स्थिरीकरण किंवा ड्रेनेज उपायांसारख्या लवचिकतेच्या धोरणांची आवश्यकता होऊ शकते.
- 6. पाया डिझाइन आणि प्रकार निवडणे (Foundation Design and Type Selection):**
- तपासणीच्या निष्कर्षांमुळे सर्वात योग्य पाया प्रकार ठरवण्यासाठी मदत होते (उदा., उथळ, खोल, पाइल पाया), हे सुनिश्चित करते की ते मातीच्या परिस्थितीशी आणि इमारतीच्या लोड आवश्यकतांशी अनुरूप आहे.
- 7. साइट प्रवेश आणि बांधकाम नियोजन (Site Access and Construction Planning):**
- उप-माती अन्वेषणामुळे प्रवेश किंवा रसद शी संबंधित समस्या देखील उघड होऊ शकतात, जसे की खडकाळ थर जे अवजड यंत्रसामग्रीस अडथळा आणू शकतात किंवा खोदकाम किंवा बांधकाम वाहनांना समर्थन देण्यासाठी खराब माती असलेले क्षेत्र.
- 8. दीर्घकालीन टिकाऊपण (Long-term Durability):**

- मातीच्या वैशिष्ट्यांची ओळख (जसे की ओलावा टिकवणे किंवा फ्रिज-थॉ सायकल) हे सुनिश्चित करते की बांधकाम हवामान आणि मातीच्या परिस्थितीला दीर्घकालीन वेळेत अत्यधिक देखभाली किंवा हानी न करता सहन करू शकते.

5.1.3 अन्वेषणाचे प्रकार (Types of exploration):

साइट तपासणीमध्ये, माती आणि उपमातीच्या परिस्थितीबद्दल आवश्यक डेटा गोळा करण्यासाठी विविध अन्वेषण तंत्रांचा वापर केला जातो, जेणेकरून सुरक्षित आणि प्रभावी बांधकाम सुनिश्चित होईल. हे अन्वेषण घटक जसे की मातीची रचना, भूजल पातळी, मातीची ताकद, आणि भार वहन क्षमता मूल्यांकन करण्यात मदत करतात, जे संरचनेच्या पाया डिझाइन करण्यासाठी अत्यंत महत्वाचे असतात. खाली साइट तपासणीमध्ये सामान्यतः वापरल्या जाणार्या अन्वेषण प्रकारांची यादी दिली आहे.

1 बोरहोल ड्रिलिंग (Borehole Drilling):

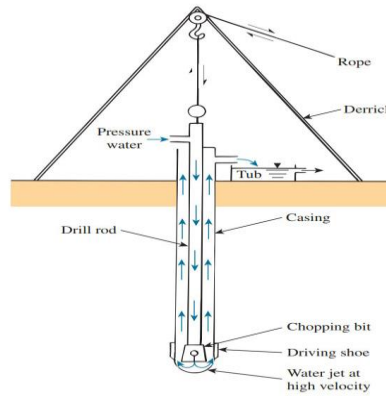


Figure 5.1 बोरहोल ड्रिलिंग

(स्रोत: civilhex.com)

- **वर्णन:** साइटवर विविध ठिकाणी मातीचे नमुने गोळा करण्यासाठी बोरहोल्स (खड्डे) जमीन खोदले जातात. या खड्ड्यांमधून विविध गहराईचे मातीचे नमुने मिळवले जातात.
- **उद्दिष्ट:** मातीच्या स्तरां, भूजल परिस्थिती आणि सामग्रीच्या गुणधर्माबद्दल तपशीलवार माहिती प्राप्त करणे.
- **पद्धत:** मातीमध्ये प्रवेश करण्यासाठी ड्रिलिंग रिगचा वापर केला जातो आणि नमुने गोळा केले जातात. बोरहोल्सची गहराई आणि संख्या प्रकल्पाच्या आकारावर आणि प्रकारावर अवलंबून असते.
- **परिणाम:** मातीचे प्रोफाइल्स प्राप्त होतात आणि मातीच्या गुणधर्मांची तपासणी करता येते, जसे की शीयर स्ट्रेंथ, घनता आणि प्रवेशयोग्यता

2 चाचणी खड्डे (Test Pits):

- **वर्णन:** साइटवर निवडक ठिकाणी कमी खोलाईचे उत्खनन (खड्डे किंवा trenches) केले जातात.
- **उद्दिष्ट:** मातीचे थेट निरीक्षण करणे आणि पृष्ठभागावर किंवा त्याच्या आसपास मातीचे वर्गीकरण करणे.
- **पद्धत:** मातीचे मॅन्युअल किंवा यांत्रिक उत्खनन केले जाते.
- **परिणाम:** कमी खोलाईच्या तपासणीसाठी उपयोगी आणि मातीचे नमुने मिळवण्यासाठी जे त्याच्या सुसंगतता आणि प्रकारानुसार विश्लेषित केले जाऊ शकतात.

3 कोन प्रवेश चाचणी (CPT- Cone Penetration Test):

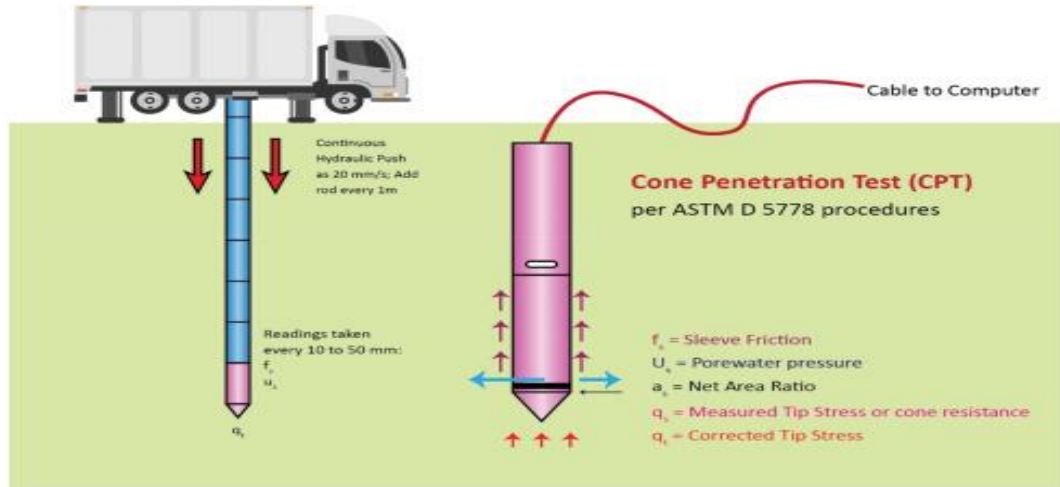


Figure 5.2 कोन प्रवेश चाचणी (CPT)

(स्रोत: www.sciencedirect.com)

- **वर्णन:** एक कोन आकाराचा पेनिट्रॉमीटर मातीमध्ये ढकलला जातो, जेणेकरून मातीच्या प्रवेशासाठी प्रतिकार मोजता येईल.
- **उद्दिष्ट:** मातीची ताकद, स्तरक्रम (stratigraphy), आणि विविध गहराईवर मातीच्या स्तरांचा प्रकार निश्चित करणे.
- **पद्धत:** कोन आकाराच्या टिपला मातीमध्ये ढकलले जाते, आणि सेन्सर मातीच्या प्रवेशासाठी प्रतिकार (टिप प्रतिकार) आणि घर्षण (साइड प्रतिकार) मोजतात.
- **परिणाम:** मातीच्या वागणुकीवर सतत, वास्तविक-समय डेटा मिळवला जातो, जो भार वहन क्षमता आणि मातीची ताकद मूल्यांकन करण्यात मदत करू शकतो.

4 मानक प्रवेश चाचणी (SPT- Standard Penetration Test):

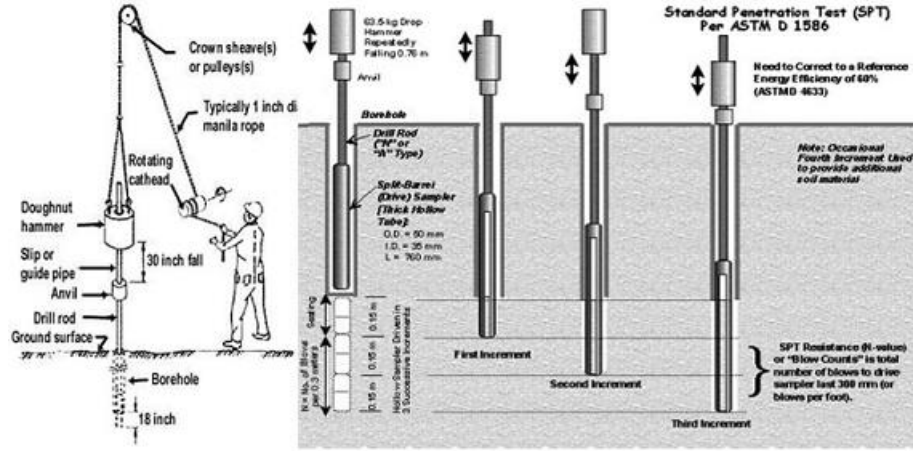


Figure 5.3 मानक प्रवेश चाचणी (SPT)

(स्रोत: quantity-takeoff.com)

- **वर्णन:** एक मानक सॅम्पलर हॅमरचा वापर करून मातीमध्ये ढकलला जातो, आणि प्रवेशासाठी लागणाऱ्या धक्क्यांची संख्या नोंदवली जाते.
- **उद्दिष्ट:** मातीची घनता आणि ताकद मूल्यांकन करणे, मुख्यतः कणिक मातीसाठी.
- **पद्धत:** सॅम्पलरला मातीमध्ये ढकलण्यासाठी लागणाऱ्या धक्क्यांची संख्या नोंदवली जाते, आणि हे "N-मूल्य" म्हणून ओळखले जाते.
- **परिणाम:** N-मूल्याचा वापर मातीची घनता आणि भार वहन क्षमता अंदाज करण्यासाठी केला जातो. हे विशेषतः वाळू आणि खडीसाठी उपयुक्त आहे.

5 सेझमिक रिफ्रॅक्शन (Seismic Refraction):

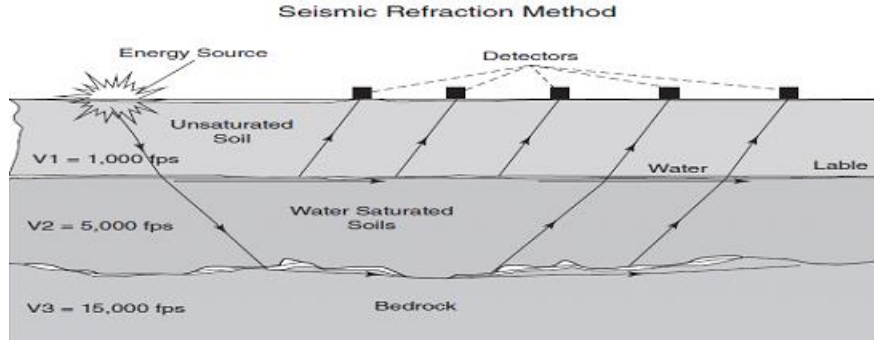


Figure 5.4 सेझमिक रिफ्रॅक्शन पद्धत

(स्रोत: www.accessengineeringlibrary.com)

- **वर्णन:** सेझमिक लाटा भूमीमध्ये पाठविल्या जातात ज्याद्वारे माती आणि खडकाच्या स्तरांचा नकाशा तयार केला जातो, लाटा कशा प्रकारे प्रवास करतात यावर आधारित.
- **उद्दिष्ट:** मातीच्या स्तराची गहराई निश्चित करणे आणि कठीण खडक किंवा गाभे (cavities) असल्यास ते शोधणे.
- **पद्धत:** सेझमिक लाटा छोटे चार्ज किंवा हॅमर वापरून निर्माण केल्या जातात, आणि जिओफोन सेझमिक लाटा मातीच्या आतून जात असताना त्यांचे मोजमाप करतात.
- **परिणाम:** भूमिगत मातीच्या संरचनेचा नकाशा तयार करण्यात मदत करते आणि मातीच्या कडकपणातील बदल ओळखण्यात मदत करते, जे पाया डिझाइनसाठी महत्वाचे असते.

6 भूभौतिक सर्वेक्षणे (Geophysical Surveys):

- **वर्णन:** विविध अव्याहत तंत्रांचा वापर भूमिगत स्थितीचा अभ्यास करण्यासाठी केला जातो, ज्यामुळे भूमीला कोणताही नुकसान न करता तपासणी केली जाते.
- **उद्दिष्ट:** मातीच्या गुणधर्मांचा नकाशा तयार करणे आणि भूमिगत विसंगती (जसे की गाभे किंवा फॉल्ट लाईन्स) शोधणे.
- **पद्धती:** यात विद्युत प्रतिकार, ग्राउंड-पेनेट्रेटिंग रॅडार (GPR), चुंबकीय सर्वेक्षणे, आणि गुरुत्वाकर्षण सर्वेक्षणे यासारख्या तंत्रांचा समावेश आहे.
- **परिणाम:** विविध मातीच्या प्रकारांची, पाण्याच्या प्रमाणाची, आणि संभाव्य धोके (जसे की भूजल प्रदूषण) याबद्दल तपशीलवार डेटा प्रदान करतो.

7 प्लेट लोड चाचणी (Plate Load Test):

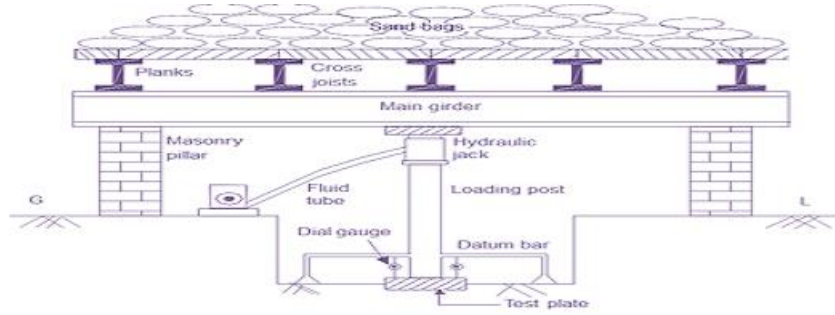


Figure 5.5 प्लेट लोड चाचणी पद्धत

(स्रोत: www.lceted.com)

- **वर्णन:** एक चाचणी ज्यामध्ये एक कठोर प्लेट जमीनवर ठेवली जाते आणि हळूहळू लोड केली जाते, प्रत्येक लोड वाढीवर वसंत (settlement) मोजले जातात.
- **उद्दिष्ट:** मातीची वास्तविक भार वहन क्षमता आणि वसंत वर्तन मोजणे.
- **पद्धत:** एक स्टील प्लेट प्रस्तावित पाया गहराईवर ठेवली जाते आणि हळूहळू लोड केली जाते, त्यानंतर होणाऱ्या वसंताचे मोजमाप केले जाते.
- **परिणाम:** विशिष्ट साइट आणि गहराईवर मातीची भार वहन क्षमता थेट मिळवता येते.

8 दबाव मीटर चाचणी (Pressure meter Test):

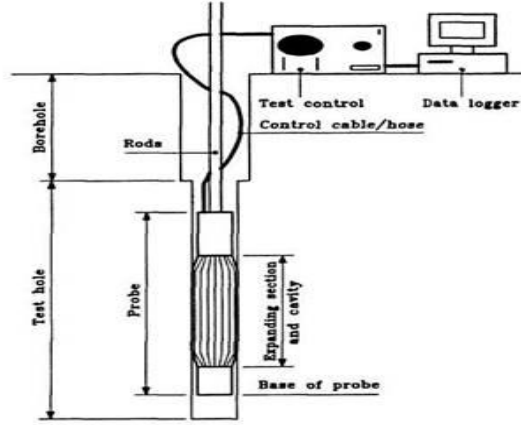


Figure 5.6 दबाव मीटर चाचणी पद्धत

(स्रोत: www.lceted.com)

- **वर्णन:** एक चाचणी ज्यामध्ये एक प्रोब बोरहोलमध्ये नियंत्रित दबावाखाली विस्तारित केला जातो, ज्याद्वारे मातीच्या विकृतीचे मोजमाप केले जाते.
- **उद्दिष्ट:** मातीच्या ताकदी आणि विकृतता गुणधर्मांचा ठरवण्यासाठी.
- **पद्धत:** प्रोब बोरहोलमध्ये ठेवला जातो, आणि आसपासच्या मातीवर दबाव लागू केला जातो. विविध दबाव पातळ्यांवर विकृती मोजली जाते.
- **परिणाम:** मातीच्या कडकपणा आणि ताकदीबद्दल तपशीलवार डेटा प्रदान करतो, विशेषतः चिकट माती जसे की चिकणमातीसाठी.

9 व्हेन शीयर चाचणी (Vane Shear Test):

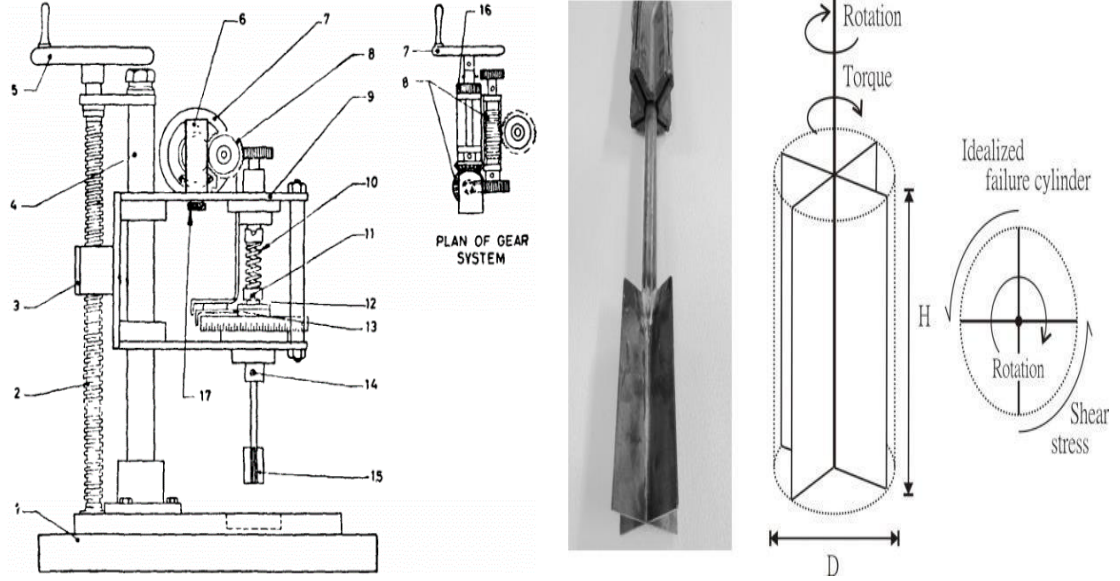


Figure 5.7 व्हेन शीयर उपकरण

(स्रोत: www.civil-engineering-calculators.com)

- **वर्णन:** एक चाचणी ज्याद्वारे चिकट माती (साधारणपणे चिकणमाती) च्या शीयर ताकदीचे मोजमाप केले जाते, ज्यात मातीमध्ये एक व्हेन (पंखासारखा उपकरण) घालून ते फिरवून प्रतिकार मोजला जातो.
- **उद्दिष्ट:** सौम्य ते मध्यम चिकणमातीच्या मातीच्या शीयर ताकदीचे मूल्यांकन करणे.
- **पद्धत:** एक व्हेन (चार पंख असलेले उपकरण) मातीमध्ये घालले जाते, आणि ते फिरवण्यासाठी लागणारा टॉर्क मोजला जातो, ज्याद्वारे शीयर ताकद काढली जाते.
- **परिणाम:** पाया डिझाइनसाठी सौम्य मातीच्या ताकदीबद्दल महत्वाची माहिती प्रदान करतो.

10 ग्राउंड पेनेट्रेटिंग रॅडार (GPR - Ground Penetrating Radar):

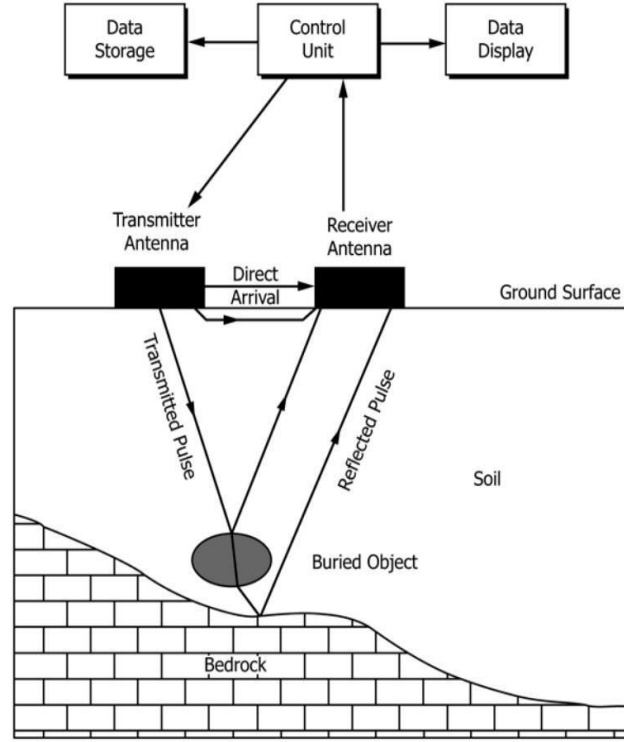


Figure 5.8 ग्राउंड पेनेट्रेटिंग रॅडार (GPR)

(स्रोत: www.researchgate.net)

- **वर्णन:** एक अव्याहत भूभौतिक पद्धत जी भूमिगत स्थितीचे चित्र तयार करण्यासाठी रॅडार पल्स वापरते.
- **उद्दिष्ट:** मातीच्या रचनेतील बदल शोधणे, गाभे शोधणे, आणि पाईप, खडक, किंवा पाणी स्तंभांसारख्या वस्तूंचे स्थान शोधणे.
- **पद्धत:** रॅडार लाटा जमिनीत पाठवली जातात, आणि परावर्तित सिग्नल्स नोंदवून भूमिगत स्तरांचे चित्र तयार केले जाते.
- **परिणाम:** भूमिगत स्थितीचे नकाशे तयार करण्यात मदत करते, ज्यामध्ये मातीच्या स्तरक्रमातील बदल ओळखणे आणि भूमिगत वैशिष्ट्यांचा शोध घेणे समाविष्ट आहे.

5.1.4 चाचणी खड्डे आणि बोरहोल्सच्या स्थान आणि संख्येची निवड करण्याचे निकष (Criteria for deciding the location and number of test pits and bores):

मातीच्या तपासणी दरम्यान चाचणी खड्डे आणि बोरहोल्सचे स्थान आणि संख्येची निवड भूमिगत स्थितीबद्दल अचूक आणि विश्वासाहर् डेटा मिळवण्यासाठी महत्त्वाची आहे. त्यांचे स्थान आणि संख्या ठरवण्यासाठी विविध घटकांचा विचार केला जातो, ज्यात खालील बाबींचा समावेश आहे:

1. प्रकल्पाची प्रकृती (Nature of the Project):

- बांधकामाचा प्रकार: मोठ्या, बहाल इमारतीसाठी तपासणी अधिक तपशीलवार आवश्यक असते, लहान निवासी प्रकल्पांच्या तुलनेत.
 - तपासणीचे उद्दीष्ट: ही तपासणी फाउंडेशन डिझाइनसाठी, भूजलाचे मूल्यांकन, किंवा भूगतिक धोक्याच्या मूल्यांकनासाठी आहे का ते.
- 2. साइट आकार आणि लेआउट (Site Size and Layout):**
- तपासणी करावयाचे क्षेत्र: मोठ्या साइट्ससाठी सर्व क्षेत्र झाकण्यासाठी अधिक चाचणी स्थानांची आवश्यकता असते, तर लहान साइट्ससाठी कमी चाचणी स्थानांची आवश्यकता असू शकते.
 - भूपृष्ठाची एकसारधता: जर साइट एकसारखी असेल, तर कमी चाचणी स्थाने पुरेशी असू शकतात. विविध प्रकारच्या भूपृष्ठावर आधारित साइट्ससाठी अधिक चाचणी खड्डे आणि बोरहोल्स आवश्यक असतात.
 - योजना केलेला इमारत फूटप्रिंट: चाचणी खड्डे महत्वाच्या संरचनात्मक घटकांच्या (फाउंडेशन्स, रिटेंनिंग वॉल्स इ.) जवळ आणि इतर महत्वाच्या पायाभूत सुविधांच्या आसपास ठेवले पाहिजेत.
- 3. भूमिगत विविधता (Subsurface Variability):**
- मातीचे थर: जर मातीच्या रचनेमध्ये भिन्नता असण्याची शक्यता असेल, तर जिथे विविध प्रकारच्या माती आढळू शकतात अशा ठिकाणी अतिरिक्त चाचणी स्थाने घ्यावीत.
 - स्तरक्रम: जर विविध थर (उदा., चिकणमाती, वाळू, खडक) विविध खोलीत अपेक्षित असतील, तर चाचणी खड्डे/बोरहोल्सचे अंतर आणि खोली समायोजित करणे आवश्यक आहे.
 - अपेक्षित भूजल स्थिती: भूजलाची किंवा पाणीच्या टेबल्सची स्थिती तपासण्यासाठी साइटच्या सर्व भागांवर चाचणी आवश्यक आहे.
- 4. भूगतिक आवश्यकता (Geotechnical Requirements):**
- फाउंडेशनचा प्रकार: फाउंडेशनचा प्रकार (उथळ, खोल किंवा विशेष पाया) मातीच्या तपासणीसाठी आवश्यक असलेल्या तपशीलांची पातळी निश्चित करते
 - भार वहन क्षमता: मातीची भार वहन क्षमता ठरवण्यासाठी, विविध खोलीत मातीची ताकद मूल्यांकन करण्यासाठी अनेक चाचणी खड्डे किंवा बोरहोल्स आवश्यक असू शकतात.
 - मातीची गुणधर्म: मातीचे गुणधर्म : संघनन, एकात्मता किंवा कातरणी शक्ती यांसारख्या गुणधर्मांचे मूल्यमापन करण्यासाठी विविध बिंदूंवरून अनेक नमुने घेणे आवश्यक असू शकते.
- 5. प्रवेश आणि सुरक्षा (Access and Safety):**
- प्रवेशयोग्यता: चाचणी खड्डे आणि बोरहोल्सची स्थान निवड करतांना अशी ठिकाणे निवडावीत जिथे उपकरणे सुलभतेने प्रवेश करू शकतात.
 - सुरक्षा नियम: काही ठिकाणे, युटिलिटीज, इमारती किंवा इतर धोकादायक परिस्थितीमुळे चाचणी घेण्यास अधिक कठीण असू शकतात.
- 6. बजेट आणि वेळेची मर्यादा (Budget and Time Constraints):**
- खर्च विचार: अधिक तपासणी अधिक डेटा प्रदान करते, परंतु ते खर्चही वाढवते. प्रकल्पाच्या बजेटनुसार चाचण्यांची संख्या मर्यादित असू शकते.

- वेळेची मर्यादा: जटिल प्रकल्पांमध्ये एक व्यापक तपासणीसाठी अधिक वेळ आवश्यक असतो, ज्यामुळे चाचण्यांची संख्या आणि आवृत्ती प्रभावित होऊ शकते.

7. आवश्यक चाचणीचे प्रकार (Type of Testing Required):

- फिल्ड चाचण्या: जर फिल्ड चाचण्यांची आवश्यकता असेल (जसे की SPT, CPT, किंवा Vane Shear चाचण्या), तर मातीच्या परिस्थितीतील विविधतेला झाकण्यासाठी अधिक चाचणी स्थानांची आवश्यकता असेल.
- प्रयोगशाळेतील चाचणी: अधिक चाचणी खुड्डे किंवा बोरहोल्स अधिक नमुने प्रयोगशाळेतील विश्लेषणासाठी प्रदान करतात (उदा., मातीचा संकुचन, कण आकार इ.), जे चांगले परिणाम मिळवण्यासाठी आवश्यक आहे.

8. नियामक आणि मानकांची आवश्यकता (Regulatory and Standards Requirements):

- स्थानिक मार्गदर्शक तत्वे: स्थानिक प्राधिकरण किंवा बांधकाम मानकांकडून विशिष्ट आवश्यकता असू शकतात जी साइटच्या अटी किंवा प्रकल्प प्रकाराच्या आधारे आवश्यक असलेल्या बोरहोल किंवा चाचणी खुड्ड्यांची किमान संख्या ठरवतात.
- मानक: काही राष्ट्रीय किंवा आंतरराष्ट्रीय मानक (उदा., ASTM, BS 5930) चाचणी ठिकाणांची संख्या आणि वितरण मार्गदर्शन प्रदान करू शकतात, हे प्रकल्पाच्या आकार आणि जटिलतेनुसार असते.

9. पुर्वीचा साइट डेटा (Previous Site Data):

- ऐतिहासिक माहिती: जर जवळच्या साइटवर किंवा त्याच साइटवर पूर्वी तपासण्या केल्या असतील, तर ऐतिहासिक डेटा चाचणी स्थान आणि संख्या ठरवण्यासाठी मदत करू शकतो.
- साइट इतिहास: साइटला समस्या (उदा. दूषितपणा, मागील बांधकाम अपयश) माहित असल्यास, अतिरिक्त चाचणी किंवा विशिष्ट चाचणी स्थाने आवश्यक असू शकतात..

10. भूगतिक आणि पर्यावरणीय विचार (Geological and Environmental Considerations):

- भूकंपीय धोके: भूकंपीयदृष्ट्या सक्रिय भागात, मातीद्रवीकरण किंवा इतर भूकंपीय परिणामांच्या जोखमीचे मूल्यांकन करण्यासाठी अधिक तपशीलवार माती तपासणी ची आवश्यकता असू शकते.
- पर्यावरणीय चिंता: जेथे पर्यावरणीय समस्या असू शकतात (उदा., ओलसर क्षेत्र, पूरक स्थळ, किंवा दूषित माती), तेथे विशेष चाचण्या आणि अधिक चाचणी स्थानांची आवश्यकता असू शकते जेणेकरून धोका स्तर मूल्यांकन केला जाऊ शकेल.

5.1.4 मातीची फिल्ड आयडेंटिफिकेशन (Field identification of soil):

फिल्ड आयडेंटिफिकेशन म्हणजे मातीचे प्रकार त्यांच्या दृश्यात्मक आणि स्पर्शात्मक गुणधर्मांवर आधारित ओळखणे आणि वर्गीकरण करणे, जे प्रयोगशाळेतील चाचण्यांशिवाय केले जाते. हे प्रारंभिक तपासण्या करत असताना भूगतिक अभियांत्रिक, बांधकाम व्यावसायिक आणि भूवैज्ञानिक यासाठी एक जलद आणि महत्वाची पद्धत असू शकते. फिल्ड आयडेंटिफिकेशन साधारणतः खालील निकषांवर आधारित असते:

1. ड्राय स्ट्रेंथ टेस्ट (Dry Strength Test):

ड्राय स्ट्रेंथ टेस्टची प्रक्रिया:

- **नमुना घ्या:** कोरडी मातीचा एक लहान नमुना घ्या. नमुना कॅशुओच्या आकारासारखा किंवा थोडा मोठा असावा, हे सुनिश्चित करा की तो संबंधित मातीचा प्रतिनिधी आहे.
- **नमुना आकार द्या:** आपल्या अंगठ्यांनी किंवा इतर साधनांद्वारे नमुन्याला एक छोटा गोळा किंवा गाठीचे रूप देण्याचा प्रयत्न करा.
- **आसंजनाची तपासणी करा:** एकदा आकार घेतल्यानंतर, आपल्या बोटांनी किंवा बोथट साधन (उदा. अंगठा किंवा लहान काठी) वापरून मातीवर दबाव लागू करा. हे मातीच्या विरघळण्याच्या किंवा तोडण्याच्या प्रतिकाराची चाचणी घेईल.
- **प्रतिक्रिया मूल्यांकन करा:**
 - माती सहजपणे कोसळते: जर माती कमी होत गेली किंवा कमीतकमी दाबाने विघटन झाली तर हे सूचित करते की माती गाळ किंवा वालुकामय गाळ आहे. या मातीमध्ये कमी सामंजस्य आहे आणि कोरडे झाल्यावर ते सहजपणे तुटतील.
 - मातीचा आकार मध्यम दबावाने ठेवतो: जर माती एकत्रितपणे चांगली ठेवली असेल परंतु तरीही काही शक्तीने तोडली जाऊ शकते तर ती सामान्यतः एक रेशमी चिकणमाती किंवा चिकणमाती गाळ असते. या मातीत काही प्रमाणात एकरूपता आहे परंतु चिकणमाती म्हणून वर्गीकृत करणे पुरेसे नाही.
 - माती मजबूत आणि लवचिक राहते: जर माती बरीच वेळ टिकून राहते किंवा खूप बलवान दाबावरच तुटते, तर ती साधारणतः चिकणमाती असू शकते. चिकणमाती मातीमध्ये कोरडी अवस्थेत असताना मजबूत आसंजन असतो कारण त्यातील सूक्ष्म कण एकत्र बंधून राहतात.

निकालांची व्याख्या:

- **चिकणमाती (Clay):** कोरडे झाल्यावर चिकणमातीची माती उच्च सामर्थ्य प्रदर्शित करते आणि बऱ्याचदा तोडणे कठीण असते. ते मोठ्या, सपाट तुकड्यांमध्ये क्रॅक करू शकतात परंतु ते सहजपणे कोसळत नाहीत. हे चिकणमातीच्या कणांमधील उच्च सुसंवादामुळे आहे.
- **कोरडी ताकद वैशिष्ट्य:** मजबूत आणि महत्त्वपूर्ण ताकद न वापरता तुटणे कठीण.
सिल्ट (Silt): सिल्ट्स सामान्यतः कमी कोरडे सामर्थ्य दर्शवितात. कोरडे असताना ते सहजपणे तुटतील, बऱ्याचदा बारीक कण किंवा पावडरमध्ये कोसळतील.
- **कोरडी ताकद वैशिष्ट्य:** कमजोर, कमी दाबाने सहज तुटते.
सॅन्डी माती (Sandy Soil): वालुकामय माती, विशेषतः गाळ मिसळल्यास, अगदी कमी कोरडे सामर्थ्य असेल आणि सहजपणे कोसळेल आणि कोसळेल. तथापि, जर मातीमध्ये वाळूची उच्च सामग्री असेल (थोडीशी चिकणमाती नसल्यास) त्यामध्ये एकत्रित शक्तीचा अभाव असू शकतो आणि कुरकुरीत किंवा सैल वाटेल.

- **कोरडी ताकद वैशिष्ट्य:** खूप कमी, गाळ सारखे सहजपणे चुरा पडते परंतु खडबडीत वाटते.
- **पीट/ऑर्गेनिक माती (Peat/Organic Soils):** या मातीत मध्यम कोरडे सामर्थ्य असू शकते, परंतु ते मऊ किंवा स्पंजदार देखील असू शकतात, ज्यामुळे ते खनिज मातीपेक्षा वेगळे आहेत. सेंद्रिय माती बऱ्याचदा मऊ आणि अधिक तंतुमय असतात.
- **कोरडी ताकद वैशिष्ट्य:** सेंद्रिय सामग्रीवर अवलंबून असते, परंतु सामान्यतः खनिज मातीपेक्षा मऊ आणि कमी एकत्रित.

2. डायलॅटन्सी चाचणी (Delitency Test):

दिलेटन्सी चाचणी ही मातीच्या वर्तनाचे मूल्यांकन करण्यासाठी वापरली जाणारी एक द्रुत फील्ड टेस्ट आहे, विशेषतः सिल्स आणि क्ले सारख्या बारीक-दाणेदार मातीचे प्रकार आणि वैशिष्ट्ये ओळखण्यासाठी. हे विशेषतः मातीच्या पाण्याबद्दलच्या प्रतिसादाचे आणि पाणी अस्तित्वात असताना कातरणेच्या शक्तींचा प्रतिकार करण्याची क्षमता मोजते.

प्रक्रिया:

- **नमुना संकलन:** मातीचे थोडेसे नमुना क्षेत्रातून घेतले जाते.
- **चाचणी सेटअप:** मातीचा नमुना हाताच्या तळहातावर ठेवला जातो.
- **पाणी जोडणे:** मातीमध्ये थोडेसे पाणी (काही थेंब) टाकले जाते आणि ते हाताने मिसळले जाते.
- **पर्यवक्षण:** पाणी जोडल्यानंतर माती हळूवारपणे पिळली जाते. मुख्य निरीक्षण हे आहे की माती विघटनशील वर्तन दर्शविते की नाही.
- मातीचा जलद विस्तार आणि आकुंचन होऊ लागल्यास विस्तारीकरण होते. हे सहसा गाळयुक्त किंवा बारीक माती दर्शवते, ज्यामध्ये बहुतेकदा गाळाचे प्रमाण असते. हे दर्शवते की मातीमध्ये लहान कण असतात ज्यामुळे ओलावा जोडला गेल्यावर ती फुगतात.

व्याख्या:

- **दिलाटंट वर्तन:** मातीचा विस्तार हे गाळयुक्त ("दाबल्यावर माती "उडते" किंवा "विस्तारते") किंवा कधीकधी गाळयुक्त मातीची पोत दर्शवते.
- जर दिलाटंट वर्तन दिसत नसेल, तर माती अधिक चिकणमाती किंवा मोठे कण असलेली असू शकते.

चाचणीचे सारांश:

- **चाचणीचे नाव:** दिलाटन्सी चाचणी
- **उद्दीष्ट:** लोड अंतर्गत जलद व्हॉल्यूम बदल मोजणे

- **प्रकार:** मोठे कण असलेली माती (सिल्टी)
- **उपयोग:** कणयुक्त मातीचे मूल्यांकन आणि त्यांच्या शीयर लोडखाली वर्तनाचे मूल्यांकन करणे.

3. टफनेस टेस्ट (Toughness Test):

उद्दीष्ट:

टफनेस टेस्ट मातीच्या प्लास्टिसिटी किंवा सुसंगतीचे मूल्यांकन करण्यासाठी वापरली जाते, विशेषतः चिकणमातीसारख्या सूक्ष्म कण असलेल्या मातीसाठी. हे मातीच्या कार्यक्षमता आणि दबावाखाली तिचा आकार टिकवून ठेवण्याची क्षमता ठरवण्यासाठी मदत करते.

प्रक्रिया:

- मातीचा एक ओलावा नमुना घ्या आणि तो गोळा करा.
- नमुन्याला बोट्यांच्या मदतीने लहान धाग्यात (सुमारे ३ मिमी व्यास) फिरवा.
- नमुना ब्रेक होण्यापासून रोखण्यासाठी किती दबाव आवश्यक आहे ते पहा.
- क्रॅक किंवा ब्रेक न करता धागा किती काळ गुंडाळला जाऊ शकतो यावर कठोरपणा दिसून येतो.

व्याख्या:

- **उच्च टफनेस:** माती लांब धाग्यात रूपांतरित होऊ शकते, ज्याचे तुटणे नाही, हे उच्च-प्लास्टिसिटी चिकणमाती सूचित करते.
- **कमी टफनेस:** माती कोसळते किंवा सहजपणे ब्रेक होते, जे कमी-प्लॅस्टिकिटी चिकणमाती किंवा इतर प्रकारचे बारीक-दाणेदार माती दर्शविते.
- **उद्दीष्ट:** ही चाचणी मातीच्या प्लास्टिसिटी इंडेक्सला ओळखण्यात मदत करते, जे बांधकामाच्या दरम्यान तिच्या वर्तनाचे आणि ती पाणी धारण करेल का गमावेल याचे समजून घेण्यासाठी महत्वाचे आहे.

चाचणीचे सारांश:

- **चाचणीचे नाव:** टफनेस चाचणी
- **उद्दीष्ट:** मातीच्या नमुन्याची प्लास्टिसिटी आणि कार्यक्षमता मोजणे
- **प्रकार:** सूक्ष्म कण असलेल्या माती (चिकणमाती)
- **उपयोग:** चिकणमातीची प्लास्टिसिटी ओळखणे, बांधकाम आणि मातीच्या वर्गीकरणात उपयुक्त.

4. फ्री स्वेल इंडेक्स (FSI- Determination of free swell index) मोजणी:

उद्दीष्ट: फ्री स्वेल इंडेक्स (FSI) हा एक महत्वाचा इंडेक्स आहे जो विस्तारक्षम मातीच्या सूजन क्षमता (swelling potential) चे मूल्यांकन करण्यासाठी वापरला जातो, विशेषतः चिकणमातीसाठी. विस्तारक्षम माती (ज्याला चिकणमाती देखील म्हटले जाते) बांधकामात महत्वाच्या समस्या निर्माण करू शकतात कारण त्या पाणी शोषणाच्या वेळी विस्तार करतात आणि कोरड्या होण्यावर संकुचित

होतात. FSI चाचणी एक साधी क्षेत्रीय चाचणी आहे जी दर्शवते की माती पाणी घेतल्यावर किती सूजते, जे तिच्या ओलसर परिस्थितीत वर्तनाबद्दल महत्त्वपूर्ण सूचनांचा आढावा घेतो.

5.2 बेअरिंग कॅपॅसिटी (Bearing Capacity):

5.2.1 बेअरिंग कॅपॅसिटी ची व्याख्या (Definition of bearing capacity):

बेअरिंग क्षमता ही अपयशी न करता जमिनीवर लागू असलेल्या भारांना आधार देण्यासाठी माती किंवा खडकाची क्षमता आहे. हे प्रति युनिट क्षेत्र जास्तीत जास्त दबाव किंवा लोड आहे जे माती अत्यधिक तोडगा, कातरणे अपयश किंवा कोसळल्याशिवाय सुरक्षितपणे घेऊ शकते. सिव्हिल अभियांत्रिकीमध्ये इमारती, पूल आणि रस्ते यासारख्या रचनांसाठी आवश्यक आकार आणि पाया निश्चित करण्यासाठी बेअरिंग क्षमता महत्त्वपूर्ण आहे.

5.2.2 अल्टिमेट बॅरिंग कॅपॅसिटी (Ultimate Bearing Capacity):

अल्टिमेट बॅरिंग कॅपॅसिटी म्हणजे मातीच्या त्या पृष्ठभागावर लावलेल्या जास्तीत जास्त दाब किंवा लोड आहे, जो त्या पायाभूत रचनेला, जसे की शीयर फेल्युअर किंवा अत्यधिक वसरण्याच्या आधी सहन करू शकते. हे एक मर्यादा दर्शविते, जेथे माती लावलेला लोड सहन करण्यास सक्षम नसते आणि त्यामुळे पायाभूत रचनांमध्ये कोसळणे किंवा अस्थिरता येऊ शकते. ही किंमत पायाभूत सुविधेच्या डिझाइनसाठी अत्यंत महत्त्वाची आहे, कारण ती सुनिश्चित करते की लावलेला लोड मातीच्या ताकदीहून जास्त होणार नाही, जे संभाव्य फेल्युअरला टाळण्यासाठी आवश्यक आहे.

5.2.3 सुरक्षित बॅरिंग कॅपॅसिटी आणि अनुमती दाब (Safe Bearing Capacity आणि Allowable Bearing Pressure):

सुरक्षित बॅरिंग कॅपॅसिटी (Safe bearing capacity):

सेफ बेअरिंग क्षमता म्हणजे अपयश, सेटलमेंट किंवा इतर स्ट्रक्चरल समस्यांचा धोका न घेता मातीवर लागू केलेल्या जास्तीत जास्त दबाव किंवा लोडचा संदर्भ आहे. लागू केलेल्या लोड अंतर्गत माती स्थिर राहते हे सुनिश्चित करण्यासाठी सामान्यतः अंतिम बेअरिंग क्षमतेवर सुरक्षितता घटक लागू करून याची गणना केली जाते. सुरक्षितता घटक मातीच्या वर्तन, भौतिक गुणधर्म आणि लोड भिन्नतेमधील अनिश्चिततेसाठी आहे.

सूत्र (Formula):

$$\text{सुरक्षित बेअरिंग क्षमता} = \frac{\text{अंतिम बेअरिंग क्षमता}}{\text{सुरक्षा घटक}}$$

सामान्यतः, सुरक्षा घटक २ आणि ३ दरम्यान असतो.

अनुमत आधार दाब (Allowable Bearing Pressure):

अनुमत बेअरिंग प्रेशर हा जास्तीत जास्त दबाव आहे जो फाउंडेशनच्या डिझाइनमध्ये मातीवर सुरक्षितपणे लागू केला जाऊ शकतो. हे सहसा सुरक्षित बेअरिंग क्षमतेसारखेच असते आणि अत्यधिक सेटलमेंट किंवा अपयश रोखण्यासाठी पाया डिझाइन करण्यासाठी हे मूल्य आहे. हे अशा घटकांसह अंतिम बेअरिंग क्षमता विचारात घेते:

- **सुरक्षा विचार:** हे सुनिश्चित करणे की लोड मातीवर लागू होणार्या सुरक्षित मर्यादेच्या बाहेर जाऊ नये.
- **संरचना प्रकार:** विविध प्रकारच्या इमारती किंवा पायाभूत सुविधा विविध सुरक्षा पातळ्या आवश्यक करू शकतात.
- **मातीचे गुणधर्म:** जसे की सहनशीलता, घर्षण, आर्द्रता सामग्री, इत्यादी.

अनुमत आधार दाब हे सुनिश्चित करते की माती लागू केलेल्या लोड्सना सामान्य स्थितीत सुरक्षित मर्यादांमध्ये ठेवू शकते, आणि यामध्ये मातीतील बदल आणि दीर्घकालीन कार्यप्रदर्शनासारख्या घटकांचा समावेश केला जातो.

5.2.4 टेरझागीच्या विश्लेषणाचा परिचय आणि त्याची गृहितके (Introduction to Terzaghi's analysis and its assumptions) :

टेरझागीचे विश्लेषण हे भूतत्त्व अभियांत्रिकीमध्ये उथळ पाया (शॅलो फाउंडेशन) च्या आधार क्षमता (bearing capacity) ची गणना करण्यासाठी वापरलेले मूलभूत पद्धती आहे. कर्ल टेरझागी यांनी 20 व्या शतकाच्या प्रारंभात विकसित केलेले हे विश्लेषण मातीच्या गुणधर्म, पाया आकार, रूप, आणि खोली यांसारख्या घटकांवर आधारित मातीच्या अंतिम आधार क्षमता (ultimate bearing capacity) निश्चित करण्यासाठी एक सैद्धांतिक चौकट प्रदान करते.

टेरझागीच्या विश्लेषणाच्या गृहितके:

टेरझागीच्या विश्लेषणात एक सामान्य सूत्र वापरले जाते, जे तीन मुख्य घटकांचा विचार करते:

- माती ची शेअर शक्ती (Shear Strength of the Soil):
 - यामध्ये मातीच्या सुसंगतता (cohesion) आणि घर्षण (friction) या गुणधर्मांचा समावेश असतो. हे घटक मातीची प्रतिकारक क्षमता दर्शवतात, जे त्याच्या लोड सहन करण्याच्या क्षमतेला प्रभावित करतात.
- पायाच्या परिमाणे (Foundation Dimensions):

- यामध्ये पाया आकार, आकाराची रचना आणि पाया किती गहरी (depth) आहे यांचा समावेश होतो. पाया जितका मोठा आणि खोल असेल, तितका त्याची आधार क्षमता वाढते.
- लोड प्रकार आणि पाया रचना (Type of Loading and Foundation Geometry):
- लोडाचे प्रकार (स्थिर, गतिशील) आणि पाया रचना (पायाच्या भरण्याचे स्वरूप आणि लोड वितरण) मातीच्या क्षमता आणि संरचनेवर महत्त्वपूर्ण प्रभाव टाकतात.

टेर्राफीच्या सिद्धांतामधील अंतिम वाहक क्षमता (q_u) साठीची मूलभूत सूत्र:

$$q_u = cN_c + qN_q + 0.5\gamma B\gamma$$

जिथे:

- q_u = अंतिम वाहक क्षमता (दाबाच्या रूपात, सामान्यतः kN/m^2 किंवा psf मध्ये)
- c = मातीचे जोड (kN/m^2 किंवा psf मध्ये)
- N_c = जोडासाठी वाहक क्षमता गुणांक (आयामरहित)
- q = संस्थेची खोली (मीटर किंवा फूटमध्ये)
- N_q = खोलीसाठी वाहक क्षमता गुणांक (आयामरहित)
- γ = मातीचा एकक वजन (kN/m^3 किंवा lb/ft^3 मध्ये)
- B = संस्थेची रुंदी (मीटर किंवा फूटमध्ये)
- γ = संस्थेच्या रुंदी साठी वाहक क्षमता गुणांक (आयामरहित)

टेरझागीच्या विश्लेषणातील गृहीत धरणे:

टेरझागीच्या सिद्धांताने परिमाण निर्धारण करण्याच्या समस्येला सोपा करण्यासाठी काही गृहीत धरणांची कल्पना केली आहे:

- **समतल माती:** माती एकसंध असल्याचे गृहीत धरले जाते, म्हणजे फाउंडेशनच्या अंतर्गत खोलीत एकसमान गुणधर्म आहेत.
- **उथळ पायाभूत संरचना:** विश्लेषण सामान्यतः उथळ पायाभूत संरचनांसाठी (जसे की फूटिंग्स किंवा स्लॅब फाउंडेशन्स) आहे, आणि ते मानते की पायाभूत संरचना खूप खोल नाही (सामान्यतः पायाभूत संरचनेच्या रुंदीच्या 3 पटापर्यंत).
- **समतल जमीन:** पृष्ठभाग समतल मानला जातो, म्हणजेच तिथे कोणतेही उतार किंवा उंचीतील भिन्नता नाही.
- **कठोर पायाभूत संरचना:** पायाभूत संरचना कठोर मानली जाते आणि ती लोड अंतर्गत विकृत होत नाही.
- **स्थिर लोड:** लागू केलेले लोड स्थिर मानले जातात (गतिशील किंवा बदलत असलेले नाहीत).
- **घर्षण कोन आणि संधानकता:** मातीची कातरणे सामर्थ्य त्याच्या एकत्रीकरण (c) आणि घर्षण कोन (ϕ) वर आधारित आहे, जे मातीच्या चाचणीपासून निर्धारित केले जाते.
- **मातीच्या हालचालींवरील मर्यादा:** विश्लेषण मानते की माती पायाभूत संरचनेखाली प्लास्टिक झोनच्या स्वरूपात विफलतेला सामोरे जाते, ज्यामुळे "विफलता पृष्ठ" (उदा., मातीतील शिथिल फेल्युर) तयार होतो.

- **पाणी टेबल दुर्लक्षित करणे:** तेरझागीची मूलभूत सिद्धांत बऱ्याचदा असे गृहीत धरते की पाण्याचे सारणी पायाच्या अगदी खाली आहे, जरी नंतर सिद्धांतामध्ये बदल केल्याने त्याचा परिणाम असर क्षमतेवर विचार केला जातो.

5.2.5 मातीतील बिघाडांचे प्रकार (Types of failures in soil):

मातीतील बिघाड वेगवेगळ्या भार परिस्थिती, भौतिक गुणधर्म आणि संरचनात्मक परस्परसंवादामुळे होऊ शकतात. मातीतील बिघाडांचे सामान्य प्रकार खालीलप्रमाणे आहेत:

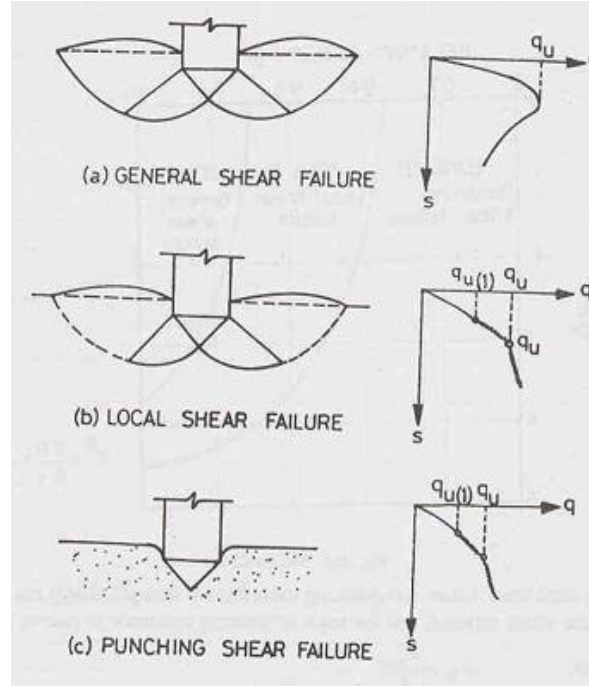


Figure 5.9 मातीतील बिघाडांचे प्रकार

(स्रोत: rashmibade.wordpress.com)

1. सामान्य बिघाड (General Failure):

- **वर्णन:** ही एक मोठ्या प्रमाणात बिघाड आहे जी तेव्हा उद्भवते जेव्हा संपूर्ण मातीचा वस्तुमान लागू केलेल्या भाराचा प्रतिकार करू शकत नाही, ज्यामुळे लक्षणीय विस्थापन किंवा विकृती होते. यामध्ये सहसा माती एका बिघाड पृष्ठभागावरून हलते किंवा सरकते.
- **वैशिष्ट्ये:**
 - मातीचा संपूर्ण वस्तुमान घसरतो किंवा सरकतो, ज्यामुळे खोल कातरणे बिघाड होतो जो पाया किंवा संरचनेवर परिणाम करू शकतो.
 - ही बिघाड पृष्ठभाग सामान्यतः एक विस्तृत चाप किंवा उतार असलेला समतल तयार करतो.
- **उदाहरण:** भूस्खलन, मोठ्या प्रमाणात उतार अस्थिरता किंवा तटबंदीचे मोठे बिघाड.

2. स्थानिक बिघाड (Local Failure):

- **वर्णन:** या प्रकारची बिघाड मातीच्या वस्तुमानातील लहान, स्थानिक क्षेत्रात होते. हे सामान्यतः तेव्हा होते जेव्हा माती विशिष्ट ठिकाणी भार सहन करू शकत नाही, ज्यामुळे लहान प्रमाणात बिघाड निर्माण होऊ शकतात ज्याचा संपूर्ण संरचनेवर परिणाम होऊ शकत नाही.
- **वैशिष्ट्ये:**
 - बिघाडाचे स्थानिक क्षेत्र, जसे की पाया पाया किंवा स्तंभांभोवती, जिथे माती एकाग्र भार सहन करू शकत नाही.
 - सामान्यतः अपुरे कॉम्पॅक्शन, खराब मातीची परिस्थिती किंवा स्थानिक ठिकाणी जास्त भार यामुळे होते.
- **उदाहरण:** स्थानिक माती कमकुवतपणामुळे किंवा पायाखालील अपुरी भार क्षमता यामुळे पायाचे स्थिरीकरण किंवा झुकणे.

3. पंचिंग शीअर फेल्युअर Punching Shear Failure):

- **वर्णन:** हे फेल्युअर तेव्हा होते जेव्हा एकाग्र भारामुळे माती किंवा बेअरिंग लेयरमध्ये स्थानिक बिघाड होतो. यामध्ये जास्त उभ्या भारांमुळे, विशेषतः लहान पाया किंवा एकाग्र भारांच्या खाली मातीचे "पंचिंग" किंवा प्रवेश समाविष्ट आहे.
- **वैशिष्ट्ये:**
 - फेल्युअर पृष्ठभाग सामान्यतः लोडिंगच्या बिंदूभोवती एक लहान, गोलाकार किंवा शंकूच्या आकाराचे आकार बनवते.
 - पंचिंग शीअर फेल्युअर पायाखाली, ढीग कॅप्स किंवा स्लॅब-ऑन-ग्राउंड परिस्थितींमध्ये सामान्य आहे जेव्हा खालील मातीमध्ये एकाग्र भाराचा प्रतिकार करण्यासाठी पुरेशी ताकद नसते.
 - यामुळे संरचनेच्या पायावर तीक्ष्ण, स्थानिक विस्थापन किंवा कोसळते.
- **उदाहरण:** अपुरी स्लॅब जाडी किंवा मजबुतीकरणामुळे स्तंभाच्या काठाखाली पंचिंग शीअरमधून मऊ मातीवरील फाउंडेशन स्लॅब.

5.2.6 पाण्याच्या पातळीचा जमिनीच्या भार सहन करण्याच्या क्षमतेवर परिणाम (Effect of water table on bearing capacity):

जलस्तंभ मातीच्या भार सहन करण्याच्या क्षमतेवर लक्षणीय परिणाम करतो, म्हणजेच मातीची संरचनांद्वारे लादलेल्या भारांना अपयश किंवा जास्त स्थिरावल्याशिवाय सहन करण्याची क्षमता. मातीमध्ये पाण्याची उपस्थिती तिच्या ताकद आणि कडकपणाच्या गुणधर्मांमध्ये बदल करते आणि त्यामुळे मातीच्या भार सहन करण्याच्या क्षमतेवर परिणाम करते. पाण्याची पातळी मातीच्या भार सहन करण्याच्या क्षमतेवर कसा परिणाम करते ते येथे आहे:

1. फाउंडेशनच्या खालील पाण्याच्या पातळीचा परिणाम (खोल पाण्याची पातळी) (Effect of water table below the foundation-deep water table):

- **कोरडी माती:** जेव्हा पाण्याची पातळी खोल असते, तेव्हा फाउंडेशन भोवतीची माती असंतृप्त आणि कोरडी राहते. या प्रकरणात, मातीचे कण सुसंरचित असतात आणि धारण क्षमता तुलनेने जास्त असते कारण मातीची एकसंधता आणि अंतर्गत घर्षण पाण्यामुळे कमी होत नाही.
- **कोणताही महत्त्वपूर्ण परिणाम नाही:** जर पाण्याची पातळी पुरेशी खोल असेल (पायाच्या पातळीपेक्षा खूप खाली), तर धारण क्षमतेवर त्याचा परिणाम नगण्य असू शकतो.

2. जमिनीच्या पृष्ठभागावर किंवा जवळ पाण्याच्या पातळीचा परिणाम (Effect of water table at or near the ground surface):

- **माती संपृक्तता:** जेव्हा पाण्याचे टेबल जमिनीच्या पृष्ठभागावर किंवा जवळ असते तेव्हा माती संतृप्त होते. प्रभावी ताणतणाव कमी झाल्यामुळे (मातीच्या कणांमधील दबाव) सॅच्युरेटेड मातीची शक्ती कमी झाली आहे. संतृप्त परिस्थितीत, पाणी मातीमध्ये व्हॉईड्स भरते आणि मातीची कातरणे सामर्थ्य कमी होते, ज्यामुळे त्याची क्षमता कमी होते.
- **एकरूपतेत घट:** चिकणमातीसारख्या बारीक मातीत, पाण्याच्या उपस्थितीमुळे प्रभावी एकरूपता (कणांमधील आकर्षण) कमी होते कारण छिद्रांमधील पाण्याचा दाब कणांमधील घर्षण कमी करतो. यामुळे मातीची एकूण कातरण्याची शक्ती कमी होते, ज्याचा थेट परिणाम धारण क्षमतेवर होतो.
- **वाढलेला छिद्र दाब:** जेव्हा पाण्याची पातळी जास्त असते, तेव्हा छिद्र दाब वाढतो, ज्यामुळे मातीवरील प्रभावी ताण कमी होतो. मातीची कातरण्याची शक्ती निश्चित करण्यासाठी प्रभावी ताण हा एक महत्वाचा घटक आहे. म्हणून, जर पाण्याची पातळी पायाच्या पातळीजवळ वाढली तर त्यामुळे धारण क्षमतेत घट होऊ शकते.

3. चढ-उतार होणाऱ्या पाण्याच्या पातळीचा परिणाम (Effect of fluctuating water table):

- **धारण क्षमतेत बदल:** जेव्हा पाण्याची पातळी चढ-उतार होते तेव्हा मातीची धारण क्षमता कालांतराने बदलते. जसजसे पाण्याची पातळी वाढते आणि कमी होते तसतसे मातीतील संपृक्ततेचे प्रमाण बदलते, ज्यामुळे मातीची ताकद आणि कडकपणामध्ये चढ-उतार होतात. यामुळे संरचनेखालील मातीच्या धारण क्षमतेत नियतकालिक बदल होऊ शकतात.
- **हंगामी परिणाम:** ज्या भागात पाण्याच्या पातळीत लक्षणीय हंगामी फरक असतो, त्या भागात पावसाळ्यात (जेव्हा पाण्याची पातळी जास्त असते) धारण क्षमता कमी होऊ शकते आणि कोरड्या ऋतूत (जेव्हा पाण्याची पातळी कमी असते) पुनर्संचयित होऊ शकते.

4. उथळ पायावर केशिका वाढ आणि परिणाम (Capillary rise and effect on shallow foundations):

- विशिष्ट परिस्थितीत, केशिका क्रियेमुळे पाण्याच्या टेबलाच्या वर पाणी वाढू शकते. असंतृप्त मातीत, हे पाया पातळीजवळ अतिरिक्त छिद्र दबाव निर्माण करू शकते, ज्यामुळे मातीच्या प्रभावी सामर्थ्यात घट होऊ शकते आणि बेअरिंग क्षमता कमी होऊ शकते.

5. वेगवेगळ्या प्रकारच्या मातीवर पाण्याच्या पातळीचा परिणाम (Effect of water table on different types of soil):

- **चिकणमाती माती:** पाण्याच्या सामग्रीतील बदलांसाठी हे अधिक संवेदनशील आहेत. जेव्हा पाण्याचे टेबल उगवते तेव्हा ते मातीचे संतृप्ति होऊ शकते, मातीची एकता कमी करते आणि अपयशाचा धोका वाढवते. सॅच्युरेटेड क्ले कोरड्या क्लेपेक्षा कमी कातरणे सामर्थ्य देखील दर्शवितात.

- **वाळूची माती:** वाळूची माती सामान्यतः पाण्याच्या संतृप्ततेमुळे संयोगाच्या बाबतीत कमी प्रभावित होते परंतु जेव्हा पाण्याची पातळी पृष्ठभागाजवळ असते तेव्हा वाढत्या छिद्र दाबामुळे धारण क्षमतेत घट अनुभवू शकते.

6. सेटलमेंटवर प्रभाव (Impact on settlement):

- उच्च पाण्याची पातळी देखील मातीमध्ये सेटलमेंट वाढवू शकते. जर माती संतृप्त असेल तर तिची संकुचितता वाढते, ज्यामुळे जास्त एकत्रीकरण आणि भाराखाली सेटलमेंट होते. हे विशेषतः मऊ मातीवर बांधलेल्या संरचनांसाठी महत्वाचे आहे, जसे की चिकणमाती, जिथे पाणी सेटलमेंट दरावर आणि आकारमानावर परिणाम करते.

5.3 पत्करण्याची क्षमता निश्चित करण्यासाठी फील्ड पद्धती (Field Methods For Determination of Bearing Capacity):

5.3.1 बेअरिंग क्षमता निश्चित करण्यासाठी फील्ड पद्धती (Field methods for determination of bearing capacity):

पाया रचनेसाठी एखाद्या जागेवर मातीची धारण क्षमता निश्चित करणे आवश्यक आहे. मातीची धारण क्षमता मूल्यांकन करण्यासाठी अनेक फील्ड पद्धती आहेत आणि प्लेट लोड टेस्ट आणि स्टँडर्ड पेनिट्रेशन टेस्ट (SPT) या दोन सामान्यतः वापरल्या जाणाऱ्या चाचण्या आहेत. खाली IS: 1888 आणि IS: 2131 नुसार या दोन चाचण्या आणि त्यांच्या प्रक्रियांचे तपशीलवार स्पष्टीकरण दिले आहे.

1. प्लेट लोड चाचणी (IS: 1888) (Plate load test):

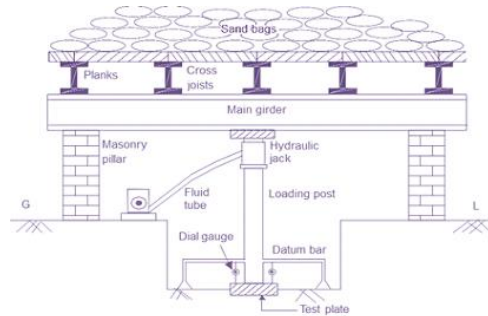


Figure 5.10 प्लेट लोड चाचणी पद्धती

(स्रोत: www.lceted.com)

प्लेट लोड टेस्ट ही फाउंडेशनसाठी प्रस्तावित साइटवर बेअरिंग क्षमता आणि मातीची सेटलमेंट वैशिष्ट्ये निश्चित करण्यासाठी वापरली जाणारी फील्ड टेस्ट आहे. चाचणीमध्ये पाया पातळीवर ठेवलेल्या प्लेटवर भार लागू करणे आणि परिणामी सेटलमेंट मोजणे समाविष्ट आहे.

चाचणी प्रक्रिया (IS: १८८८ नुसार)

- **तयारी:**
 - चाचणी ज्या ठिकाणी बेअरिंग क्षमता आवश्यक आहे त्या ठिकाणी केली जाते.
 - एक कडक स्टील प्लेट (सामान्यतः ३०० मिमी ते ७५० मिमी व्यासाची) वापरली जाते.
 - प्लेट पायाच्या खोलीवर ठेवली जाते, जी सहसा पाया ज्या पातळीवर ठेवला जाईल त्या पातळीवर असते.
- **प्लेटची जागा:**
 - प्लेट तयार केलेल्या जमिनीच्या पृष्ठभागावर ठेवली जाते, ज्यामुळे मातीशी चांगला संपर्क सुनिश्चित होतो.
 - पृष्ठभाग समतल आणि कॉम्पॅक्ट केला पाहिजे आणि प्लेट क्षैतिजरित्या विश्रांती घेतली पाहिजे.
- **लोड ॲप्लिकेशन:**
 - लोड टप्प्याटप्प्याने लावला जातो आणि प्रत्येक लोडसाठी, सेटलमेंट मोजले जाते.
 - लोड लागू करण्यासाठी हायड्रॉलिक जॅक किंवा तत्सम यंत्रणा वापरली जाते.
 - जास्त सेटलमेंट टाळण्यासाठी लोड वाढ एकसमान आणि लहान असावी (सामान्यतः अंदाजे सुरक्षित बेअरिंग क्षमतेच्या 10% ते 25% दरम्यान).
- **सेटलमेंट मापन:**
 - सेटलमेंट गेज किंवा डायल गेज वापरून सेटलमेंट मोजले जाते ज्यामध्ये प्लेटवर वेगवेगळ्या ठिकाणी किमान 3 मोजमापे घेतली जातात.
 - प्रत्येक भार वाढीवरील सेटलमेंट लक्षणीय सेटलमेंट होईपर्यंत किंवा लागू केलेला भार पायासाठी कमाल अपेक्षित मूल्यापर्यंत पोहोचेपर्यंत रेकॉर्ड केले पाहिजे.
- **लोड-सेटलमेंट कर्वे :**
 - लागू केलेला भार विरुद्ध सेटलमेंटचा प्लॉट काढला जातो आणि वक्रवरून बेअरिंग क्षमता निश्चित केली जाते.
 - ज्या बिंदूवर वक्र सेटलमेंटमध्ये तीव्र वाढ दर्शवितो (विशिष्ट भारानंतर) तो अंतिम बेअरिंग क्षमता दर्शवितो.
- **विश्लेषण:**
 - ज्या कमाल भारावर महत्त्वपूर्ण सेटलमेंट होते त्या भारावर सुरक्षिततेचा योग्य घटक लागू करून अंतिम बेअरिंग क्षमता प्राप्त केली जाते.
 - अनुमत बेअरिंग क्षमता सुरक्षिततेच्या घटकाद्वारे अंतिम बेअरिंग क्षमतेचे विभाजन करून (सामान्यतः 2 आणि 3 दरम्यान) निश्चित केली जाऊ शकते.

प्लेट लोड चाचणीचे फायदे:

- लोड अंतर्गत मातीच्या वर्तनाचे थेट मापन प्रदान करते.
- फील्ड परिस्थितीत बेअरिंग क्षमतेचा अधिक अचूक अंदाज देते.

मर्यादा:

- ही चाचणी वेळखाऊ आणि महाग आहे.
- प्लेटचा आकार मोठ्या पायांचे अचूक अनुकरण करू शकत नाही, विशेषतः विषम मातीत.

2. उत्कृष्टता प्रवेश चाचणी (Standard Penetration Test-SPT) (IS: 2131):

एखाद्या जागेवर मातीची ताकद आणि घनता निश्चित करण्यासाठी स्टँडर्ड पेनिट्रेशन टेस्ट (SPT) चा मोठ्या प्रमाणात वापर केला जातो. ड्रॉप हॅमर वापरून नियमित अंतराने स्प्लिट स्पून सॅम्पलर मातीत चालवून ही चाचणी केली जाते. सॅम्पलरला विशिष्ट अंतरावर चालविण्यासाठी लागणाऱ्या वारांची संख्या नोंदवली जाते आणि मातीच्या गुणधर्माचा अंदाज घेण्यासाठी वापरली जाते, ज्यामध्ये धारण क्षमता देखील समाविष्ट आहे.

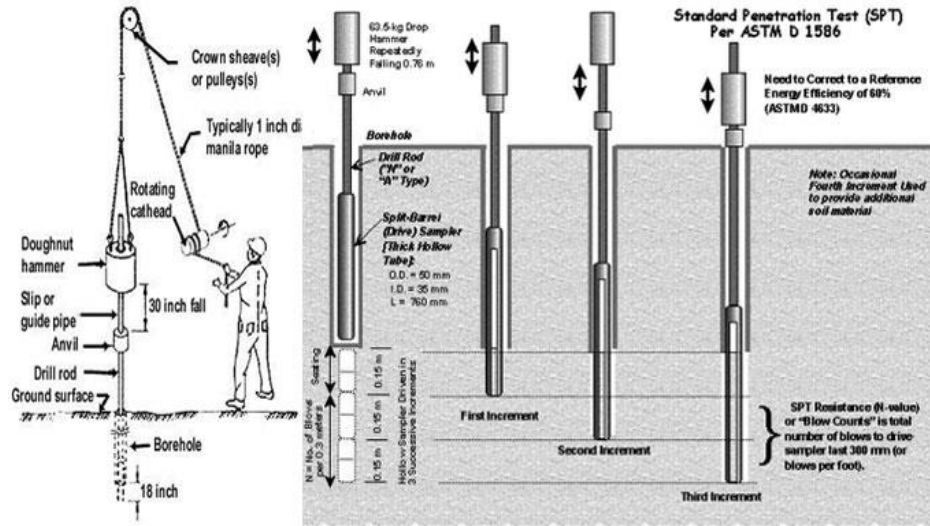


Figure 5.11 मानक प्रवेश चाचणी (SPT)

(स्रोत: quantity-takeoff.com)

चाचणी प्रक्रिया (IS: 2131 नुसार)

- **चाचणी सेटअप:**
 - चाचणी ठिकाणी बोअरहोल ड्रिलिंग मशीन वापरून आवश्यक खोलीपर्यंत बोअरहोल ड्रिल करून चाचणी केली जाते.
 - स्प्लिट चमचे सॅम्पलर बोअरहोलमध्ये उतरवले जाते आणि ते जमिनीत नेण्यासाठी प्रमाणित वजनाचा हातोडा (63.5 किलो) वापरला जातो.
 - सॅम्पलरला मारण्यासाठी हातोडा ७६० मिमी उंचीवरून सोडला जातो.
- **सॅम्पलर चालवणे:**
 - सॅम्पलरला १५० मिमीच्या वाढीने मातीत टाकले जाते.

- पहिल्या ३०० मिमी आणि त्यानंतरच्या १५० मिमी वाढीमध्ये प्रवेश करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या वारांची संख्या नोंदवली जाते. दुसऱ्या १५० मिमीमध्ये प्रवेश करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या वारांची संख्या ही प्रमुख मापन आहे, ज्याला N-मूल्य म्हणतात.
- **N-मूल्य रेकॉर्ड करणे:**
 - N-मूल्य म्हणजे एकूण ४५० मिमी खोलीच्या शेवटच्या १५० मिमीमध्ये सॅम्पलर चालवण्यासाठी आवश्यक असलेल्या वारांची संख्या.
 - मातीची सापेक्ष घनता, एकात्मता आणि ताकद यांचे संकेत देण्यासाठी हे N-मूल्य विविध खोलींवर नोंदवले जाते.
- **विश्लेषण:**
 - मातीची धारण क्षमता मूल्यांकन करण्यासाठी N-मूल्य वापरले जाते, उच्च N-मूल्ये सामान्यतः कडक आणि मजबूत माती दर्शवितात.
 - N-मूल्य आणि धारण क्षमता यांच्यातील सहसंबंध मातीच्या प्रकारावर अवलंबून असतो आणि अंतिम धारण क्षमता अंदाज घेण्यासाठी अनुभवजन्य सहसंबंधांचा वापर केला जाऊ शकतो.
- **सुरक्षितता आणि सुधारणा घटक:**
 - जास्त भार दाब, बोअरहोल व्यास आणि नमुना घेण्याच्या विघ्न यासारख्या घटकांसाठी N-मूल्यामध्ये सुधारणा केल्या जातात.
 - N-मूल्य समाविष्ट करणाऱ्या योग्य सूत्रांचा वापर करून अंतिम धारण क्षमता अंदाजित केली जाऊ शकते.

मानक पेनिट्रेशन चाचणी (SPT) चे फायदे:

- प्लेट लोड चाचणीच्या तुलनेत जलद आणि किफायतशीर.
- माती स्ट्रॅटिग्राफी आणि सापेक्ष घनतेबद्दल माहिती प्रदान करते.
- धारण क्षमता अंदाजित करण्यासाठी व्यवहारात व्यापकपणे वापरले आणि स्वीकारले जाते.

मर्यादा:

- परिणाम ऑपरेटरच्या तंत्रावर, वापरलेली उपकरणे आणि इतर फील्ड परिस्थितीवर अवलंबून असतात.
- एसपीटी सेटलमेंटबद्दल थेट माहिती प्रदान करत नाही, म्हणून सेटलमेंट वर्तनाचे मूल्यांकन करण्यासाठी पुढील विश्लेषण आवश्यक आहे.

महत्त्वाचे प्रश्न**दोन गुणांचे प्रश्न**

1. State two types of soil exploration.
2. Enlist the methods of soil stabilization.
3. State necessity of soil investigation.
4. Define ultimate bearing capacity of soil.
5. Enlist any two the methods of soil stabilization.

चार गुणांचे प्रश्न

1. Write the meaning of following,
 - a) Safe Bearing Capacity
 - b) Ultimate Bearing Capacity
2. Enlist the assumptions made in Terzaghi's analysis of soil failure due to poor bearing capacity.
3. Write any four methods of improving bearing capacity of soil.
4. Explain the plate load test for determination of bearing capacity of soil.
5. State field identification test on soil and explain any one.

सहा गुणांचे प्रश्न

1. Explain in brief the procedure of following field identification tests on soil i) ii) Dilatancy test Toughness test.
2. State field identification test on soil and explain any one.
3. State and explain the methods of improving the bearing capacity of soil.
4. State necessity of site investigation and explain in brief the types of exploration.
5. State the effect of water table on bearing capacity of soil.

संदर्भ (REFERENCES)**सुचवलेले शिक्षण साहित्य / पुस्तके (Suggested Learning Materials / Books)**

- [1] Punmia, B.C., Soil Mechanics and Foundation Engineering, Laxmi Publication (P) Ltd., New Delhi, ISBN9788170087915
- [2] Murthy, V.N.S., A text book of soil mechanics and foundation Engineering, CBS Publishers & Distributors Pvt. Ltd., NewDelhi 2016 ISBN: 9788123913629
- [3] Ramamurthy, T.N. & Sitharam,T.G., Geotechnical Engineering (Soil Mechanics), S Chand and Company LTD., New Delhi ISBN: 9788121924573
- [4] Braja M. Das, Principles of Geotechnical Engineering, Cengage Learning ISBN: 9789355738103
- [5] Parbin Singh, Engineering and General Geology, S K Kataria and Sons ISBN-13 978-8188458516
- [6] Kasamalkar B. J., Geotechnical Engineeing, Pune Vidyarthi Griha Prakashan, Pune
- [7] Raj, P. Purshotthama, Soil Mechanics and Foundation Engineering, Pearson India New Delhi 2014 ISBE: 9789332515123

लर्निंग वेबसाइट्स आणि पोर्टल्स (Learning Websites & Portals)

- [1] <https://youtu.be/N2J-tvEel4c?si=SgQPolCSbFAuOVLd>
- [2] <https://youtu.be/l6vk0EM4yPg?si=-M6WwrxpOIZYHy94>
- [3] https://youtu.be/5rDHjZ_RJq0?si=V714qwz1vE8f5pSP
- [4] <https://youtu.be/YejCi5SEOAU?si=n8w1uAaul7ZgaG9P>
- [5] https://youtu.be/pM-w_cvk1nA?si=3evWNLpjtwFxtsP0
- [6] https://youtu.be/bmpn5oNDvOs?si=LxcoQUSe_lmL3QQ1
- [7] <https://youtu.be/CAezS3mPzOc?si=9-blMPqTKy1MuPDG>
- [8] https://youtu.be/c4i_y6u-tsE?si=Bjcltf55LqNn2Ihn
- [9] <https://youtu.be/fCmMW73rP64?si=mdAiq1WPkpc9n1DI>
- [10] <https://youtu.be/Lrml0egYtM4?si=ag1mezmK74UAuyCf>
- [11] <https://smfe-iiith.vlabs.ac.in/List%20of%20experiments.html>
- [12] <https://youtu.be/8Q8CZW9-jXE?si=8Yrf2NvS9b5v9kcF>
- [13] <https://www.ijsrp.org/research-paper-0121/ijsrp-p10935.pdf>
- [14] https://youtu.be/QuE4tEK-5iY?si=t61uZOWhS_nd5z8H
- [15] <https://youtu.be/DjWDOqQjsyQ?si=k43rXl2I19YK9msV>